**Przegląd Geograficzny**
2022, 94, 3, s. 327-349
https://doi.org/10.7163/PrzG.2022.3.3

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polska Akademia Nauk

https://www.igipz.pan.pl/przeglad-geograficzny.html

# Cyfrowi przedsiębiorcy przemysłu 4.0 w przestrzeni Polski

# *The Geography of Digital Entrepreneurs in Industry 4.0 in Poland*

**Krzysztof Gwosdz[1] Agnieszka Sobala-Gwosdz[2] Katarzyna Hetmańczyk[1]**

[1]Uniwersytet Jagielloński
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
[2]Instytut Rozwoju Miast i Regionów
ul. Targowa 45, 03-728 Warszawa
krzysztof.gwosdz@uj.edu.pl • asobala-gwosdz@irmir.pl • katarzyna.hetmanczyk@student.uj.edu.pl

**Zarys treści**. Celem pracy jest poznanie przestrzennego zróżnicowania lokalizacji firm oferujących usługi i produkty zaliczane do heterogenicznej grupy technologii przemysłu 4.0 oraz określenie potencjału poszczególnych obszarów w zakresie możliwości wytworzenia przyszłych skupień tej działalności w Polsce. Identyfikacji skupień dokonano na podstawie wieloetapowej procedury, wykorzystując rozproszone zbiory danych, w oparciu o przeważające kody klasyfikacji działalności gospodarczych i iloraz lokalizacji. Stwierdzono, że cyfrowi przedsiębiorcy wykazują się silną koncentracją w niewielkiej liczbie miast i powiatów, a przede wszystkim w miastach rdzeniowych największych polskich metropolii. Dotyczy to zwłaszcza usług związanych z oprogramowaniem oraz inżynieryjnych a ponadto firm dystrybuujących specjalistyczne maszyny i urządzenia. Największe perspektywy na rozwój w obszarach pozametropolitalnych wykazują podmioty powiązane z produkcją maszyn oraz zajmujące się ich instalowaniem i integracją. Heterogeniczność technologii przemysłu 4.0 sprawia, że miasta i regiony, w oparciu o dobrze rozpoznany własny potencjał mogą eksplorować różne ścieżki rozwoju lokalnego powiązane z tymi technologiami.

**Słowa kluczowe**: przemysł 4.0, geografia innowacji, sektory zaawansowanej technologii, koncentracja przestrzenna, Polska.
***Keywords***: *Industry 4.0, geography of innovation, clustering of high-tech sectors, Poland*.

## Wstęp

Przemysł 4.0 (określany również jako przemysł czwartej generacji) jest postrzegany jako zjawisko, które w znacznym stopniu zmieni światowy krajobraz gospodarczy. Technologie zaliczane do przemysłu 4.0 (P4.0), w tym systemy cyber-fizyczne, współpracujące roboty, algorytmy sztucznej inteligencji rewolucjonizują organizację produkcji, zmieniają czynniki konkurencyjności i zapotrzebowanie na pracę. Wpływają one na pozycję w światowym podziale pracy krajów o średnim poziomie rozwoju, które w ostatnich dwóch-trzech dekadach przyciągały znaczące inwestycje przemysłowe z państw wysokorozwiniętych, oferując korzystną kombinację kosztów pracy i zachęt inwestycyjnych. Ekonomiści i geografowie ekonomiczni wskazują, że – podobnie jak w poprzednich rewolucjach przemysłowych – nowe technologie otworzą okna sposobności dla regionów, wykreują nowych liderów innowacji, gdyż mają one potencjał do tego, by zmienić geografię zaawansowanych dzia-

łalności gospodarczych w Europie (zob. Götz i Jankowska, 2017; Balland i Boschma, 2021). Równocześnie innowacyjne firmy, które oferują usługi i produkty zaliczane do rozwiązań P4.0, postrzegane są jako potencjalna siła przełamująca dotychczasową specyfikę gospodarczą regionów przemysłowych w Europie Środkowej, które tkwią często w tzw. „pułapce średniego rozwoju" i „rozwoju zależnego", konkurując w europejskiej i światowej gospodarce raczej niskimi kosztami niż innowacjami (Szalavets, 2017; Drahokoupil, 2020; Gwosdz et al., 2020; Micek et al., 2022).

Od blisko dekady wysoko rozwinięte kraje podejmują ożywione inicjatywy mające na celu wsparcie cyfrowej transformacji i usieciowienia gospodarki, rozumiejąc jej przełomowe znaczenie dla utrzymania konkurencyjności i innowacyjności. Co więcej, światowa pandemia COVID-19 okazała się silnym katalizatorem przyspieszającym wdrożenia technologii P4.0. Nie dziwi zatem, że badacze i eksperci postulują, że istnieje coraz większa potrzeba analiz, które wykażą jak kraje, regiony i miasta pozycjonują się w zakresie tempa i potencjału rozwoju P4.0 i odpowiedzą tym samym na pytanie: jakie terytoria będą innowatorami w zmienionym paradygmacie rozwoju, a które zagrożone są marginalizacją? Zdecydowana większość opublikowanych badań skupia się na popytowej stronie P4.0, badając na poziomie krajów i regionów skalę gotowości i powszechności absorpcji tych technologii wśród podmiotów gospodarczych, zwłaszcza branż przemysłu przetwórczego (np. Gracel i Łebkowski, 2018; Brodny, 2021; *Advanced Technologies for Industry*, 2020; Palmen i Baron, 2020). Znacznie rzadziej uwzględnia się przestrzenny aspekt strony podażowej technologii P4.0, tzn. zróżnicowania terytorialnego firm oferujących usługi i produkty zaliczane do tej grupy technologii. Tymczasem ten heterogeniczny zbiór działalności tworzą w przeważającej mierze firmy z sektorów wysokiej i średnio-wysokiej techniki z rodzimym kapitałem, mogące być wiodącym mechanizmem sprawczym nowej, endogenicznej ścieżki rozwoju regionalnego (*indigenous creation*) (zob. Martin i Sunley, 2006; Gwosdz, 2016). Prawidłowości ich rozmieszczenia w przestrzeni są jak dotychczas słabo rozpoznane (zwłaszcza w skali wewnątrzregionalnej), tymczasem kwestia ta ma wyjątkowe znaczenie teoretyczne i praktyczne, gdyż jest m.in. wskazówką co do działań w ramach lokalnych, regionalnych i państwowych polityk innowacyjności samorządów i państwa.

Celem autorów niniejszej pracy jest poznanie przestrzennego zróżnicowania lokalizacji „cyfrowych przedsiębiorców" w Polsce oraz określenie potencjału poszczególnych obszarów w zakresie możliwości wytworzenia przyszłych skupień tej działalności. Polska, podobnie jak inne kraje Europy Środkowo-Wschodniej, jako kraj reprezentujący pośredni szczebel w globalnym podziale pracy na rdzeń i peryferie, jest szczególnie interesującym obszarem takiej analizy. Nieliczne badania światowe skupiają się przede wszystkim na poziomie regionalnym (NUTS2) – opierają się głównie na danych patentowych – i słabo odzwierciedlają specyfikę zróżnicowania wewnątrzregionalnego, w szczególności w krajach Europy Środkowo-Wschodniej (Balland i Boschma, 2021; Capello i Lenzi, 2021; Corradini et al., 2021). Szalavets (2020, s. 6) określa tę problematykę jako „niezbadane terytorium dociekań akademickich", podkreślając potrzebę badań uwzględniających różnice kontekstowe między gospodarkami wysokorozwiniętymi a krajami średniego poziomu rozwoju. Niniejszy artykuł zmierza do częściowego wypełnienia tej luki poznawczej.

Dalsza część artykułu podzielona jest na cztery części. W pierwszej zwięźle przedstawiamy współczesne debaty dotyczące mechanizmów rozwoju w przestrzeni przemysłu 4.0. Następnie prezentujemy i uzasadniamy zastosowaną w pracy własną metodykę badawczą, która ma na celu identyfikację „cyfrowych przedsiębiorców", tj. innowacyjne

firmy oferujące usługi i produkty zaliczane do rozwiązań przemysłu 4.0. Aktualną „geografię" innowacyjnych firm, dostawców technologii przemysłu czwartej generacji na poziomie miast i obszarów metropolitalnych oraz przestrzenne zróżnicowanie w potencjale ich rozwoju (na poziomie powiatów) omawiamy w części empirycznej. Uzyskane wyniki dyskutujemy w ostatniej części artykułu, odnosząc je do wyników innych autorów, wskazując równocześnie na ograniczenia przyjętej metody i dalsze kierunki badań.

## Technologie przemysłu 4.0 i ich geografia – tło teoretyczne

Koncepcję przemysłu 4.0 zaprezentowano po raz pierwszy na targach w Hannowerze w 2011 r. (Sendler, 2016), niemniej wiele kluczowych technologii doń zaliczanych rozwinęło się wcześniej (Götz i Gracel, 2017; Hardt, 2021). W literaturze przedmiotu trwa dyskusja na ile technologie P4.0 mają charakter radykalnej innowacji, co pozwoliłoby na faktyczne utożsamianie ich z kolejną, czwartą „rewolucją przemysłową". Jednym z podstawowych wyzwań w tym względzie jest wielka różnorodność technologii, które ujmowane są w ramach tego pojęcia. Badacze włoscy (Chiarello et al., 2018, s. 244) wskazują, że P4.0 jest terminem łączącym w rzeczywistości ponad 30 różnych dziedzin techniki. Balland i Boschma (2021, s. 1653) podkreślają, że „nie ma formalnej, powszechnie akceptowanej i łatwej do zastosowania klasyfikacji technologii przemysłu 4.0". Najczęściej do P4.0 zalicza się takie technologie jak: internet rzeczy, chmurę obliczeniową, wytwarzanie addytywne (druk 3D), rozszerzoną i wirtualną rzeczywistość, analizę wielkich zbiorów danych (*big data*), roboty autonomiczne i współpracujące, cyberbepieczeństwo, uczenie maszynowe i algorytmy sztucznej inteligencji oraz integrację systemów[1].

Niektórzy autorzy wskazują na potrzebę rozróżniania między szerszym pojęciem cyfryzacji albo digitalizacji gospodarki a węższym terminem P4.0 (Palmen i Baron, 2020). Zdaniem Hermanna et al. (2015, cyt. za Götz i Gracel, 2017, s. 222) przemysł czwartej generacji należy rozumieć jako wspólny termin łączący technologię i organizację łańcucha wartości dodanej. Zdaniem Dolińskiego (2022, s. 6) istota przemysłu 4.0 polega na łączeniu urządzeń w ramach cyfrowych „organizmów" (automatycznie zbierających i przetwarzających wielkie zbiory danych) oraz pogłębienie integracji wewnątrz poziomych i pionowych łańcuchów wartości, co pozwala firmom na optymalizację kosztową i produktową. Część badaczy wskazuje, że rewolucyjny charakter technologii P4.0 polega nie tyle na radykalnej nowości tych technologii *per se* ile na tym, że w krótkim okresie obserwujemy niebywałą konwergencję dość odległych od siebie pól technologicznych, które w efekcie dają nową jakość (np. Chiarello et al., 2018; Kogler, 2021). W szczególności akcentuje się fenomen coraz większego zespolenia działalności produkcyjnej z usługową (Dimache i Roche, 2013) i inteligentne połączenie technologii cyfrowych i fizycznych (zob. przegląd w Götz i Gracel, 2017). W tym sensie warto zauważyć, że termin „przemysł" w tradycyjnym, wąskim (sektorowym) ujęciu, które nawiązuje do obowiązującej klasyfikacji działalności gospodarczej staje się coraz mniej adekwatny jako kategoria analityczna. Gros technologii przemysłu 4.0 w świetle klasyfikacji to bowiem działalności usługowe, stąd rosnąca liczba publikacji związanych z koncepcją „serwicyzacji przemysłu" (zob. Lafuente et al. 2019).

[1] Wykaz terminów polskich i angielskich odnoszących się do technologii przemysłu 4.0 zawiera „Słownik Przemysłu 4.0" (https://przemysl-40.pl/index.php/2017/10/18/slownik-przemyslu-4-0/).

Inni akademicy podkreślają raczej ewolucyjny charakter przemysłu czwartej generacji. Zdaniem Hardta (2021) P4.0 to po prostu nowy etap w ciągłej ewolucji przemysłu, który przekształca go w coraz bardziej złożony system techniczny. Nie zmienia on zasadniczo, zdaniem tego autora, uniwersalnych zasad produkcji przemysłowej. Inny obraz wyłania się z badań Ballanda i Boschmy (2021), którzy określali podobieństwo branżowe dziesięciu technologii zaliczanych do P4.0 w oparciu o dane patentowe. Badacze Ci udowodnili, że peryferyjne i dość izolowane usytuowanie poszczególnych technologii P4.0 w sieci istniejących pokrewieństw branżowych wskazuje, że mają one charakter radykalnej, a nie inkrementalnej innowacji. Debatę tę można chyba dobrze podsumować określeniem Götz (2020), która przemysł 4.0 nazywa „ewolucyjną rewolucją".

Niezależnie od stanowiska reprezentowanego przez poszczególnych badaczy, powstanie nowego systemu produkcji, jak wskazywał m.in. autor klasycznej pracy *Geografia Technopolii* (Benko, 1993), stwarza nowe konfiguracje przestrzenne gospodarki i może powodować geograficzne przemieszczenie działalności. We współczesnej geografii ekonomicznej i studiach regionalnych ścierają się dwa podejścia co do pola manewru jakie dla poszczególnych terytoriów otwiera nowa fala innowacji.

Zdaniem koncepcji „okien sposobności lokalizacyjnych" (Scott i Storper, 1987; Boschma, 1997) radykalne innowacje, mogą powstać w różnych obszarach, ponieważ nowe technologie mają na tyle odmienne czynniki lokalizacji, że nie nawiązują one do istniejących, historycznie wykształconych kryteriów. Obrazowo ujęli to autorzy raportu *Jak Dolina Krzemowa stała się Doliną Krzemową* (Morris i Penido, 2014, s. 3) wskazując, że „wielkie firmy mogą rozwinąć się w niespodziewanych i problemowych miejscach, a innowacyjne przedsiębiorstwa mogą rozpoczynać działalność i odnosić sukcesy w miastach i regionach które są dalekie od ideału". Teoretycznym uzasadnieniem tej tezy są modele amerykańskiego ekonomisty Arthura (1989), podkreślającego fakt, że w rozwoju nowych branż, gdzie wiodącym mechanizmem w powstawaniu nowych firm są procesy *spin-offs*[2], cechy miejsca nie mają znaczenia. Bardziej liczą się przypadkowe, mało znaczące zdawałoby się wydarzenia, które, jeśli zajdą w odpowiednim momencie (embrionalnej fazie rozwoju nowej branży), mogą zostać wzmocnione i utrwalone poprzez wykształcające się korzyści aglomeracji.

Badacze, którzy opowiadają się za bardziej ewolucyjnym niż rewolucyjnym mechanizmem rozwoju terytoriów podkreślają z kolei, że to historycznie wykształcone cechy lokalne i regionalne decydują, gdzie powstanie i rozwinie się nowa koncentracja innowacyjnych działalności[3]. Cechy te mogą stwarzać „umożliwiające" lub „ograniczające" środowisko. Problematyka ta jest polem dociekań w światowej geografii ekonomicznej od kilkudziesięciu lat (m.in. Checkland, 1976; Olson, 1982; Massey, 1984; Scott i Storper, 1987; Grabher, 1993; Boschma, 1997; Klepper, 2002), szczególnie ożywiła ją obszerna literatura rozwijająca koncepcje ewolucyjne w nurcie „zależności od ścieżki" (omówienie w jęz. polskim zob. Gwosdz, 2004; Gwosdz i Micek, 2020).

Debatę o roli cech miejsca w powstawaniu nowych działalności w ostatnich latach posunęły do przodu analizy nad mechanizmami oddziaływania poszczególnych branżowych

[2] *Spin-offs* (firmy odpryskowe) – powstawanie nowego podmiotu gospodarczego poprzez wydzielenie się z jednostki macierzystej w celu komercjalizacji nabytej w niej wiedzy i technologii. *Spin-offs* jest uważany główny mechanizm rozwoju firm w branży wysokich technologii.

[3] Często określane metaforą „nowej ścieżki rozwojowej" rozumianej jako powstanie i wzrost nowych branż i aktywności ekonomicznych w przestrzeni (MacKinnon et al., 2019, s. 113).

ścieżek technologicznych rozwijających się synchronicznie w danym regionie. Frangenheim et al. (2020) wyróżniają trzy główne rodzaje takich relacji: konkurencyjne, neutralne i wspierające. Cytowani autorzy twierdzą, że siła i charakter powiązań między rozwijającymi się nowymi ścieżkami branżowymi zależy od tego, w jakim stopniu opierają się one na tych samych rynkach zbytu lub też tych samych (rzadkich lub obfitych) aktywach lokalnych. Micek et al. (2022) na przykładzie studium przypadku rozwoju ekosystemu P4.0 w województwie śląskim podkreślili rolę „krytycznego złączenia" niezależnych dotąd ścieżek branżowych, które w efekcie wykreowało nową, dynamiczną ścieżkę regionalną. Adler i Florida (2021) wskazują na trzy typy miejsc czy „nisz", które mogą sprzyjać wykształceniu się koncentracji technologii P4.0: wiodące technopolie (*tech hubs*), wielkie miasta globalne i obszary tradycyjnego przemysłu. Warto odwołać się w tym względzie do starszych rozważań Benko (1993), którego zdaniem trzy możliwe kategorie przestrzeni są szczególnie predystynowane do wykształcenia bieguna technologii: zrestrukturyzowane stare regiony przemysłowe, przestrzenie metropolitalne oraz utworzone *ex nihilo* nowe przestrzenie przemysłowe, nie mające dotychczas tradycji w branży wytwórczej (tak jak z dala od starych okręgów pierwszej i drugiej rewolucji przemysłowej, powstawały przestrzenie przemysłu 3.0 w USA czy Francji). W świetle klasycznej hipotezy inkubacji (Hoover i Vernon, 1959), to przede wszystkim duże miasta są sprzyjającym środowiskiem dla nowych firm ze względu na pozytywne efekty zewnętrzne (zlokalizowany transfer wiedzy). Podobnie dowodzą Balland i Rigby (2017), wskazując, że firmy oferujące bardziej złożone technologie (takie jak P4.0) nieproporcjonalnie koncentrują się w dużych miastach. Z kolei według koncepcji „pokrewieństwa branżowego" (Neffke et al., 2011), sukces regionu w pozyskaniu i utrzymaniu nowych branż zależy od tego, na ile branże te są technologicznie pokrewne do działalności już w tym miejscu rozwiniętych.

Światło na przedstawioną wyżej dyskusję koncepcyjną rzuciły opublikowane niedawne wyniki szeroko zakrojonych lub zakrojonych na szeroką skalę badań dotyczących potencjału rozwojowego europejskich regionów w kierunku przemysłu 4.0 oparte na analizach danych patentowych (zawarte w zeszycie tematycznym *Regional Studies* pod redakcją De Propris i Bellandi, 2021). Balland i Boschma (2021) podkreślają ogromne zróżnicowania w grupie europejskich regionów w zakresie ich potencjału do partycypacji w rozwoju technologii P4.0. Ponad połowa z 20. czołowych regionów reprezentowana jest przez trzy kraje: Niemcy, Francję i Wielką Brytanię. Równocześnie autorzy podkreślają wielkie zróżnicowanie potencjału w zakresie poszczególnych technologii P4.0, konkludując, że „nie ma jednej geografii przemysłu 4.0 w Europie" (Balland i Boschma, 2021, s. 1661). Cytowani autorzy akcentują fakt, że technologie 4.0 tworzą dwa dość odrębne subsystemy – jeden zogniskowany wokół technologii 4.0 powiązanych z branżą IT (*computer-related I 4.0*) i drugi osadzony wokół technologii produkcyjnych 4.0 (*manufacturing-related I 4.0*). Corradini et al. (2021) dowodzą, że poszczególne technologie P4.0 różnią się wymaganiami co do istnienia branżowych (wyspecjalizowanych) zdolności. Przykładowo technologie związane z robotyką i addytywnym wytwarzaniem (druk 3D) wykazują silne ciążenie do czynników lokalizacji, które posiada niewiele regionów przemysłowych, podczas gdy technologie przemysłowego internetu rzeczy i big data mogą być rozwijane w większej liczbie miejsc. Jak podkreślają Corradini et al. (2021), zdolność poszczególnych terytoriów do generowania innowacji związanych z P4.0 powinna równocześnie uwzględniać czynniki związane z cechami danego obszaru, jak i technologiczne, związane ze specyfiką poszczególnych rozwiązań P4.0.

Wyniki badań empirycznych wskazują, że czynniki sprzyjające pojawieniu się w danym miejscu i rozprzestrzenieniu się technologii P4.0 to przede wszystkim:

- wysoki stopień dywersyfikacji gospodarki (Castaldi et al., 2015) – czynnik ten podkreśla znaczenie tzw. efektów zewnętrznych typu Jacobs (1969),
- odpowiednio duża populacja (Balland i Boschma, 2021), wielkość gospodarki i dostęp do zasobów kapitału ludzkiego (Adler i Florida, 2021),
- zdolności i skumulowane kompetencje technologiczne rozwinięte we wcześniejszych fazach innowacji (Hallward-Driemeier i Nayyar, 2017),
- obecność branż średnio-wysokiej i wysokiej techniki, w szczególności chłonnych na technologie gałęzi przemysłu, branż pokrewnych technologiom 4.0 oraz związanych z technologiami informatycznymi (Castellacci, 2008; Götz i Jankowska, 2017; Hallward-Driemeier i Nayyar, 2017; Balland i Boschma, 2021),
- bliskość do innych regionów, które są innowatorami w zakresie rozwoju przemysłu 4.0. (Almeida i Kogut, 1999; Corradini et al., 2021).

Na podstawie omówionej literatury tematu można stwierdzić, że nie należy oczekiwać znaczącego przełomu w rekonfiguracji regionów innowacyjnych i zapóźnionych, a ryzyko utrzymywania się a nawet pogłębiania luki technologicznej jest wysokie. Ilustrują to doskonale wyniki badań Capello i Lenzi (2021), które miały na celu wskazanie „nowych wysp innowacji", tzn. regionów w Europie, które nie miały silne rozwiniętych kompetencji w zakresie przemysłu 3.0, a stały się innowatorami w technologiach przemysłu 4.0. Na 304 przebadane regiony europejskie (poziom NUTS2), jako nowe wyspy innowacji zaproponowano 26 kandydatów (czyli 9% jednostek). Równocześnie aż dwadzieścia z tych „nowych wysp innowacji" sąsiadowało z regionami, które określano jako „regiony wysokiej techniki" bądź „regiony technologiczne", co ilustruje rolę bliskości w stosunku do liderów i potencjalną siłę efektów rozprzestrzeniania. Adler i Florida (2021, s. 1797) podkreślają, że wzrost technologii *urban-tech*, będących elementem P4.0 nie doprowadził jak dotąd do wyłonienia nowych centrów technologii na świecie. Nie oznacza to, że proces takowy nie nastąpi w przyszłości – jeśli bowiem P4.0 ma faktycznie potencjał radykalnej innowacji, to mechanizmy, które opisywały i wyjaśniały struktury przestrzenne Przemysłu 3.0 raczej nie będą bardzo użyteczne w wyjaśnieniu jego przyszłej geografii.

## Materiały i metody

W klasyfikacji działalności gospodarczych nie istnieje wyodrębniona kategoria pozwalająca zbiorczo i wyczerpująco zidentyfikować technologie przemysłu 4.0. Nie ma też jakichkolwiek wspólnych standardów czy referencji branżowych, które łączyłyby ten niezwykle heterogeniczny zbiór firm i technologii. Co więcej, bardzo szybki postęp technologiczny sprawia, że liczba nowych technologii P4.0 szybko przyrasta (Kogler, 2021). Dokonany przez autorów niniejszego artykułu przegląd literatury wskazuje, że badacze identyfikując potencjał miast i regionów w kierunku P4.0 stosowali jak dotąd dwie główne strategie badawcze. Pierwsza polegała na analizie danych z baz patentowych. Szczegółowe technologie do takiej analizy wyróżniano w oparciu o metaanalizę specjalistycznych periodyków naukowych, panele eksperckie, niektórzy autorzy wykorzystywali systemy sztucznej inteligencji (zob. Chiarello et al., 2018). W Polsce, podobnie zresztą jak w innych krajach Europy Środkowej i Wschodniej, ze względu na niewielką liczbę wniosków patentowych

(zwłaszcza na poziomie podregionalnym i lokalnym) metody te nie są zbyt użyteczne, gdyż silnie zaniżają faktyczną liczbę firm.

Inną metodą, znacznie mniej powszechną, jest identyfikacja dostawców technologii przemysłu 4.0 w oparciu o typ przeważającej działalności identyfikowany na podstawie międzynarodowych klasyfikacji działalności gospodarczych. O ile nam wiadomo, po raz pierwszy metodę tę zastosowali Fassio i Nathan (2020). Identyfikując zbiór firm, autorzy Ci posłużyli się zmodyfikowanym wykazem branż wysoko-technologicznych, który opracowało Brytyjskie Biuro Statystyki Narodowej (Harris, 2015). Uwzględnili aż 130 działalności na poziomie czterocyfrowego kodu NACE, odpowiadającego podklasie PKD 2007. W naszej analizie również opieramy się na metodzie kodów klasyfikacji działalności gospodarczych, przy czym zastosowaliśmy nieco inne podejście niż przytaczani autorzy.

W pierwszym etapie badań skonstruowano bazę zweryfikowanych dostawców technologii P4.0 w Polsce. Podstawowym wyzwaniem była identyfikacja źródeł danych spełniających kryteria wiarygodności, trafności, kompletności i aktualności. Ponieważ nie istnieje jedno źródło informacji, które jednocześnie spełniałoby wyróżnione kryteria w zadawalającym stopniu, konieczne było przeprowadzenie systematycznego przeglądu różnorodnych źródeł danych pierwotnych i wtórnych. Objął on następujące źródła:

- baza danych Urzędu Patentowego RP oraz międzynarodową bazę dokumentów patentowych prowadzanej przez Europejskie Biuro Patentowe EPO (Espacenet). Podstawą wyszukiwania były kody CPC patentów, które według ekspertyzy EPO (Ménière et al., 2017) obejmowały technologie przemysłu 4.0,
- lista projektów realizowanych z Funduszy Europejskich w Polsce w latach 2014-2020 w ramach programów Innowacyjna Gospodarka i Inteligentny Rozwój. Wyszukiwania dokonano w oparciu o słowa kluczowe opisujące technologie klasyfikowane jako P4.0,
- specjalistyczne katalogi firm publikowane przez wiodące czasopisma branżowe związane z automatyką, robotyką i technologiami informatycznymi (np. Informator Rynkowy Automatyki, ComputerWorld TOP200) oraz katalogi wystawców ogólnopolskich i regionalnych targów przemysłowych (np. ITM Industry Europe),
- strony parków technologicznych, specjalnych stref ekonomicznych, klastrów i stowarzyszeń branżowych. Niektóre z tych instytucji udostępniają własne bazy danych dostawców technologii przemysłu 4.0 (np. Katowicka Specjalna Strefa Ekonomiczna) lub też umożliwiają wyszukiwanie poprzez słowa kluczowe kompetencje członków obejmujące technologie przemysłu 4.0 (np. Software Development Association Poland, ITCorner). W części tych źródeł konieczne było jednak czasochłonne przeszukiwanie plików tekstowych pod kątem zakresu oferty firm obejmującej technologie P4.0.

Zidentyfikowane na podstawie tych źródeł firmy weryfikowano następnie poprzez kwerendę ich witryn internetowych oraz sprawozdań zarządów z działalności (dla firm zarejestrowanych w KRS), a dodatkowo wywiadów i informacji w prasie branżowej i portalach branżowych (np. zrobotyzowany.pl, przemysl-40.pl, Platforma Robotów DBR77). Procedura ta pozwoliła na zidentyfikowanie 823 firm, których kompetencje obejmowały co najmniej jedną z technologii przemysłu 4.0. Bez wątpienia nie jest to ciągle kompletna baza danych dostawców technologii przemysłu 4.0 działających w Polsce, jest ona jednak – o ile wiadomo – największym dotąd zidentyfikowanym w Polsce spójnym zbiorem tych podmiotów.

Dla każdej z firm, w oparciu o wyszukiwarkę podmiotów gospodarki narodowej (https://wyszukiwarkaregon.stat.gov.pl) zidentyfikowano m.in. kod przeważającej działalności na poziomie podklasy PKD 2007, adres siedziby, szczegółową formę prawną, formę własności oraz datę założenia.

Baza „cyfrowych przedsiębiorstw" była także punktem wyjścia do szerszej analizy potencjału i zdolności terytoriów w kierunku P4.0. Ocena taka została dokonana w ten sposób, że z Krajowego Rejestru Sądowego pozyskano pełne dane o liczbie aktywnych podmiotów gospodarczych (ponad 426 tysięcy firm wg stanu na 1.08.2021 r.), a następnie poprzez metodę ilorazu lokalizacji (LQ) określono terytorialne koncentracje firm, które reprezentują najczęściej występujące kody przeważającej działalności PKD 2007 na poziomie podklasy, obejmujące powyżej 0,5% z zidentyfikowanych w bazie 823 cyfrowych przedsiębiorstw. Przyjęto, że najlepszą jednostką przestrzenną do tych analiz jest poziom powiatu, który w przybliżeniu przedstawia zasięg lokalnego rynku pracy. Następnie dokonano bonitacji poszczególnych powiatów w ten sposób, że jeśli wartość ilorazu lokalizacji liczby firm danej podklasy względem liczby ludności w wieku produkcyjnym wynosiła 1,25[4] i więcej przypisywano temu powiatowi wartość 1 (jeżeli mniejsza to 0), którą następnie mnożono przez częstość danej podklasy w bazie danych cyfrowych przedsiębiorstw[5].

Następnie ilorazy cząstkowe sumowano, uzyskując w ten sposób wskaźnik syntetyczny sumy iloczynów ilorazów lokalizacji WpI4.0:

$$\text{WpI4.0} = \sum_{(i=1)}^{n} (a_i \cdot b_i)$$

gdzie:

$$a = 1 \leftrightarrow \frac{X_i \div X}{Y_i \div Y} \geq 1{,}25$$

$$a = 0 \leftrightarrow \frac{X_i \div X}{Y_i \div Y} < 1{,}25$$

$$b = \left(\frac{N_i}{X}\right)$$

$X_i$ = liczba dostawców technologii przemysłu 4.0 w powiecie *i*

$X$ = liczba dostawców technologii przemysłu 4.0 w Polsce

$Y_i$ = liczba ludności w wieku produkcyjnym w powiecie *i*

$Y$ = liczba ludności w wieku produkcyjnym w w Polsce

$N_i$ = liczba dostawców technologii przemysłu 4.0 z przeważającym kodem PKD 2007 *i*

Dodatkowo, dostawców technologii P4.0 podzielono na pięć typów podmiotów, ze względu na wiodącą działalność: (1) usługi związane z oprogramowaniem (działy 58, 61-63 PKD 2007); (2) instalowanie i integracja specjalistycznych maszyn (dział 33); (3) dystrybucja maszyn i urządzeń (działy 46-47); (4) działalność produkcyjną (działy14-30) oraz (5) firmy inżynieryjne i badawczo-rozwojowe (działy 71, 72, 74 PKD 2007).

Aby ocenić na ile cyfrowi przedsiębiorcy P4.0 tworzą nową geografię innowacji w Polsce zebrano dane dotyczące lokalizacji firm, które oferują technologie przemysłu 3.0 (auto-

[4] Iloraz lokalizacji o wartości 1,25 jest przyjmowany jako próg specjalizacji regionalnej (*Business...*, 2001, s. 573-575; *Methodology...*, 2001).

[5] Wartości te podano w załączniku dostępnym na końcu artykułu.

matyka i robotyka), a ponadto dane o lokalizacji podmiotów gospodarczych, które według Europejskiego Biura Statystyki klasyfikowane są jako przemysły wysokiej techniki i usługi wysokiej techniki oparte na wiedzy (*Eurostat indicators on High-tech industry and Knowledge – intensive services)*. Źródłem wiedzy o lokalizacji tych pierwszych firm były portale branżowe www.automatyka.pl oraz www.biznesfinder.pl (zidentyfikowano 6492 firmy). Pozostałe podmioty, w oparciu o przeważający kod PKD 2007 wyodrębniono z rejestru KRS (odpowiednio 2025 i 27854 aktywnych podmiotów wg stanu na 1.08.2021 r.).

Przyjęta w niniejszej pracy strategia badawcza kładzie więc szczególnie duży nacisk na obecność, terytorialną koncentrację i potencjał w tym zakresie innowacyjnych „cyfrowych przedsiębiorców". W literaturze wskazuje się na szczególne zdolności tych podmiotów do inicjowania nowych łańcuchów wartości i wysokotechnologicznej ścieżki rozwoju, co jest szczególnie istotne dla aspirujących krajów średniego poziomu rozwoju, takich jak Polska i inne kraje członkowskie UE z regionu Europy Środkowo-Wschodniej. Wskazuje się, że nowe przedsięwzięcia i firmy oparte na technologiach cyfrowych mają wysoki potencjał wzrostu a ich działalność prowadzi do znaczących korzyści w zakresie innowacji, produktywności, i wzrostu zatrudnienia w sektorach wysokiej technologii (m.in. Lafuente et al., 2019). Szalavets (2020) i Baron (2016) wymieniają unikalne cechy organizacyjne, technologiczne i ekonomiczne cyfrowych przedsiębiorców, podkreślając ich duży potencjał zdolności transformacyjny lokalnych i regionalnych gospodarek. Fassio i Nathan (2020) zwracają uwagę, że cyfrowi przedsiębiorcy zgłaszają wnioski patentowe dużo częściej niż inne firmy, wykazują większy stopień umiędzynarodowienia i mają zdecydowanie wyższy udział pracowników z wyższym wykształceniem.

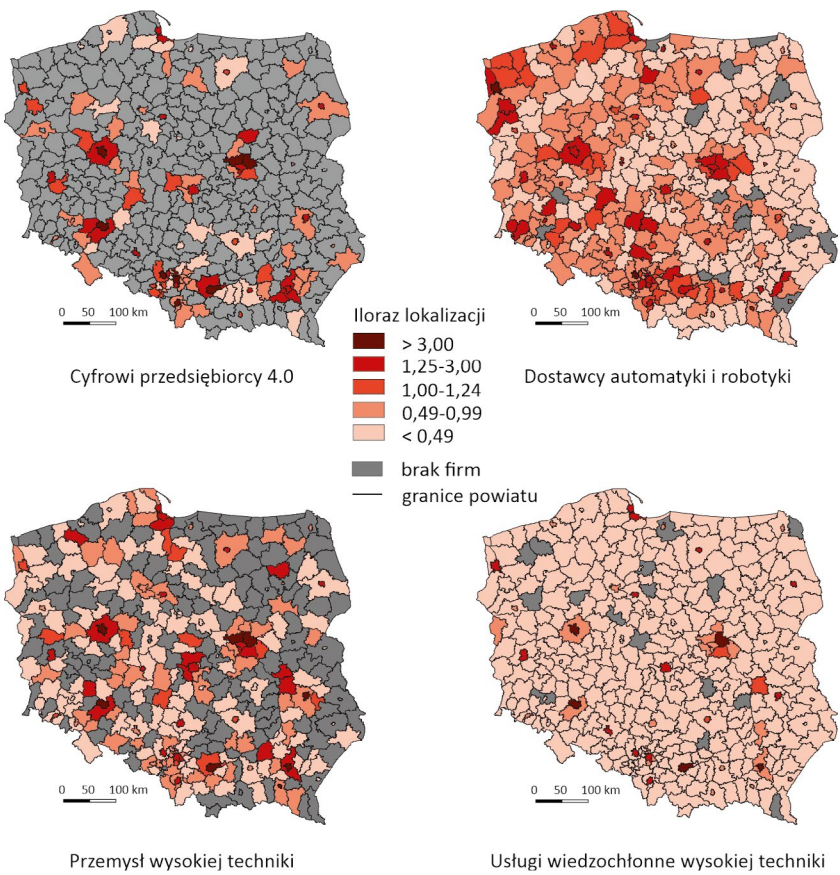
## Wyniki: obecne i potencjalne obszary koncentracji cyfrowych przedsiębiorstw w Polsce

Cyfrowi przedsiębiorcy tworzą bardzo heterogeniczny zbiór. Reprezentują oni aż 110 podklas PKD 2007, z czego 30 podklas PKD 2007 obejmuje co najmniej 5 podmiotów (załącznik 1). Wskazuje to na różnorodność oferowanych usług, produktów i rozwiązań przemysłu 4.0, a pośrednio także na odmienną genezę i ścieżkę rozwoju poszczególnych firm. Najwięcej zidentyfikowanych cyfrowych przedsiębiorstw reprezentuje działalność związaną z oprogramowaniem i doradztwem w zakresie informatyki (43%), a następnie sprzedaż hurtową maszyn i urządzeń (14%). Liczny jest zbiór firm o przeważającej działalności klasyfikowanej jako branże przemysłu przetwórczego, a szczególnie producentów maszyn i urządzeń (8%), komputerów i wyrobów elektronicznych (5%) oraz instalatorów maszyn przemysłowych, sprzętu i wyposażenia (6%) Znaczący jest też udział podmiotów zajmujących się usługami w zakresie inżynierii i związanej z nią doradztwem technicznym (5%) a ponadto podmiotów prowadzących badania naukowe i prace rozwojowe w dziedzinie nauk technicznych (4%). Wśród zidentyfikowanych firm zdecydowanie przeważają podmioty z polskim kapitałem (79%). Około 1/8 cyfrowych przedsiębiorstw posiadała co najmniej 1 patent związany z technologiami P4.0.

Cyfrowi przedsiębiorcy cechują się silną koncentracją w nielicznych ośrodkach, a przede wszystkim w wiodących polskich ośrodkach metropolitalnych (ryc. 1). 3/4 zidentyfikowanych cyfrowych przedsiębiorstw zlokalizowanych jest na terenie siedmiu największych metropolii w Polsce, z czego w samej metropolii stołecznej niemal 1/4. Metropolie

regionalne skupiają między 3% (łódzka) a 14% (jak wrocławska i policentryczna GZM) dostawców technologii przemysłu 4.0. Spośród ośrodków pozametropolitalnych i pozawojewódzkich zwraca uwagę bardzo wysoka pozycja Bielska-Białej, a także Rzeszowa, Białystoku i Lublina (ryc. 1).

Wyraźnie widoczna jest indywidualna specyfika poszczególnych metropolii w zakresie specyfiki branżowej typów dostawców technologii P4.0 (tab. 1). Wśród firm, których wiodącą działalnością są usługi związane z oprogramowaniem (IT), zwraca uwagę pozycja Wrocławia, gdzie udział tego typu cyfrowych przedsiębiorców jest największy (tab. 1). Cyfrowi przedsiębiorcy, dla których wiodącą działalnością jest specjalistyczne instalowanie maszyn mają szczególnie duży udział tak w liczbach bezwzględnych, jak i względnych (ponad dwukrotnie wyższy niż przeciętna dla kraju) na obszarze GZM. Generalnie ten typ firm jest silnie reprezentowany w ośrodkach metropolitalnych regionów, które były obszarami reindustrializacji w ostatnich dwóch dekadach i są silnym skupieniem branż przemysłu przetwórczego (oprócz GZM to przede wszystkim Poznań i Wrocław, a następnie Łódź).




**Ryc. 1.** Lokalizacja siedzib firm oferujące usługi i produkty zaliczane do rozwiązań przemysłu 4.0 i przemysłu 3.0 w Polsce na tle skupień przemysłu wysokiej techniki i usług wysokiej techniki
*Locations of the seats of companies offering services and products classified as Industry 4.0 and Industry 3.0 solutions, as set against Poland's clusters of high-tech industry and high-tech services*

**Tabela 1.** Liczba i względny udział poszczególnych kategorii dostawców przemysłu 4.0 według obszarów metropolitalnych
*Numbers and shares of Industry 4.0 suppliers by type and by metropolitan area*

| Obszar | Liczba dostawców technologii P4.0 | w tym udział procentowy producentów danej kategorii | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | produkcja maszyn i urządzeń | instalowanie maszyn | dystrybucja maszyn | usługi związane z oprogramowaniem | usługi inżynieryjne i badawczo-rozwojowe | pozostałe |
| Warszawski OM | 193 | 9,3 | 0,5 | 22,3 | 51,8 | 8,3 | 7,8 |
| Wrocławski OM | 109 | 10,1 | 7,3 | 13,8 | 58,7 | 9,2 | 0,9 |
| Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia | 108 | 17,6 | 11,1 | 16,7 | 35,2 | 9,3 | 10,2 |
| Krakowski OM | 93 | 16,1 | 2,2 | 12,9 | 49,5 | 11,8 | 7,5 |
| Poznański OM | 50 | 18,0 | 8,0 | 26,0 | 38,0 | 4,0 | 6,0 |
| Trójmiejski OM | 49 | 22,4 | 2,0 | 10,2 | 49,0 | 12,2 | 4,1 |
| Łódzki OM | 22 | 18,2 | 4,5 | 9,1 | 54,5 | 9,1 | 4,5 |
| Pozostałe lokalizacje | 199 | 30,2 | 8,0 | 8,5 | 40,7 | 7,5 | 5,0 |
| Polska | 823 | 17,9 | 5,5 | 15,2 | 46,7 | 8,7 | 6,1 |

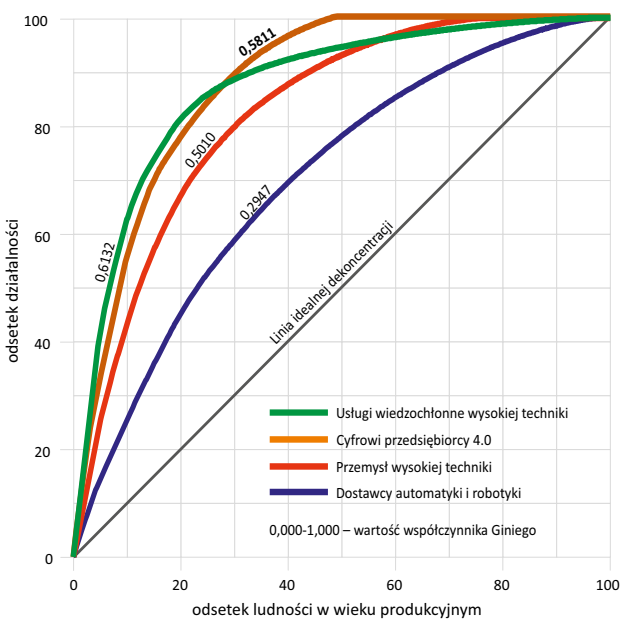
Opracowanie własne na podstawie delimitacji obszarów metropolitalnych (poza GZM) za Śleszyński (2013).

Z kolei udział dostawców technologii P4.0, którzy wywodzą się z firm dystrybucyjnych jest największy w Poznaniu i Warszawie. W przypadku Warszawy wynika to najprawdopodobniej z jej centralnej pozycji w hierarchii osadniczej i preferowanego miejsca rejestracji siedziby w stolicy dla firm zagranicznych, zaś dla Poznania nawiązuje to do jego tradycyjnej roli ośrodka targów i handlu, a także miasta posiadającego rozległe zaplecze regionalne i ponadprzeciętnie uprzemysłowionego w skali kraju. Inaczej kształtuje się sytuacja w przypadku cyfrowych przedsiębiorstw, których główną działalnością jest produkcja maszyn i urządzeń. Ta kategoria firm posiada największe znaczenie w Trójmieście, co wiąże się z silnie reprezentowanym na Pomorzu przemysłem elektronicznym, który wykazuje silne pokrewieństwo branżowe do technologii P4.0. Warto zauważyć, że jednym z kierunków rozwoju P4.0 jest hybrydyzacja przemysłu produkcji maszyn i urządzeń z cyfrowymi technologiami, związane z ewolucją tego pierwszego w kierunku tzw. maszyn inteligentnych, wyposażonych w bazujące na algorytmach sztucznej inteligencji autonomiczne czujniki i systemy internetu rzeczy (zob. Lee, 2018; Balland i Boschma, 2021). Natomiast cyfrowi przedsiębiorcy w zakresie usług inżynieryjnych i badawczo-rozwojowych cechują się największym udziałem w Trójmiejskim i Krakowskim OM. W przypadku Trójmiasta, może to się wiązać z zidentyfikowanej tam ponad 20 lat temu przez Brodzickiego et al. (2002) zalążkowej formie klastra automatyki przemysłowej, czemu sprzyjała bliskość klientów z branży elektronicznej. Krakowski OM ze względu na swe cechy strukturalne, m.in. korzyści dywersyfikacji i aglomeracji, wysoką od ponad dwóch dekad aktywność Krakowskiego Parku Technologicznego SSE w zakresie wsparcia innowacji (efekt pierwszeństwa) oraz silnych powiązań zewnętrznych postrzegany jest jako jeden z najbardziej atrakcyjnych inwestycyjnie obszarów dla działalności B+R w Polsce (zob. Micek et al., 2017). Trzeba

jednak pamiętać, że w wartościach bezwzględnych największa liczba dostawców usług inżynieryjnych i badawczo-rozwojowych dla przemysłu 4.0 znajduje się w Warszawskim OM, a Wrocławski OM i GZM posiadają niemal identyczną ich liczbę jak Krakowski OM. Ta kategoria przedsiębiorców wykazuje też największą koncentrację przestrzenną spośród wszystkich w miastach rdzeniowych największych obszarów metropolitalnych.

Biorąc pod uwagę toczącą się dyskusję na ile technologie przemysłu 4.0 mają charakter radykalnych innowacji i na ile tworzą „nową geografię" (Benko, 1993; Adler i Forida, 2021) należy zbadać jak zaobserwowane prawidłowości w przestrzennym rozmieszczeniu cyfrowych przedsiębiorstw przedstawiają się na tle rozmieszczenia podmiotów przemysłu wysokiej techniki (działy 21, 26, 30.3 PKD 2007), usług wysokiej techniki (działy 59-63, 72) oraz firm, które reprezentują poprzednią, trzecią falę rewolucji przemysłowej, czyli branżę automatyki i robotyki przemysłowej.

Na poziomie powiatowym, obszary koncentracji cyfrowych przedsiębiorców P4.0 wykazują najwyższą korelację z skupieniami usług wysokiej techniki ($\chi$ = 0,71), współwystępowanie z koncentracją przemysłu wysokiej techniki jest tylko nieco mniejsze ($\chi$ = 0,69). Znacznie słabsza jest korelacja między koncentracją cyfrowych przedsiębiorstw a liczbą ludności ($\chi$ = 0,55), co wskazuje na to, że geografia cyfrowych przedsiębiorstw nie jest zarazem prostym odzwierciedleniem potencjału demograficznego (ta ostatnia zmienna dużo lepiej objaśnia natomiast skupienia usług wysokiej techniki: $\chi$ = 0,82). Generalnie, koncentracja przestrzenna dostawców technologii P4.0 jest minimalnie mniejsza niż koncentracja firm z obszaru usług wysokiej techniki, wyraźnie większa natomiast niż dla firm wysokiej techniki i dostawców rozwiązań przemysłu 4.0 (ryc. 2)




**Ryc. 2.** Koncentracja firm oferujące usługi i produkty zaliczane do rozwiązań przemysłu 4.0 i przemysłu 3.0 w Polsce na tle skupień przemysłu wysokiej techniki i usług wysokiej techniki
*The concentration of companies offering services and products classified as Industry 4.0 and Industry 3.0 solutions, as set against Poland's clusters of high-tech industry and high-tech services*

Interesujące prawidłowości ujawnia analiza współwystępowania w skali lokalnej dostawców technologii przemysłu 4.0 oraz przemysłu 3.0 ($\chi$ = 0,65). Zainspirowani pracą Capello i Lenzi (2021) wyróżniliśmy cztery typy powiatów w Polsce, w zależności od skali koncentracji w nich cyfrowych przedsiębiorców 4.0 i firm oferujących technologie przemysłu 3.0. Około 5% powiatów w Polsce to „liderzy technologiczni", gdzie zarówno przedsiębiorcy 3.0 jak i 4.0 wykazują wysoką koncentrację (tab. 2). Największe ośrodki Polski Wschodniej – Lublin i Białystok (obydwa miasta posiadają silny sektor IT), a ponadto powiat wrocławski odpowiadają wyróżnionej przez Capello i Lenzi (2021) kategorii „nowych wysp innowacji", tzn. wysokiej koncentracji cyfrowych przedsiębiorców 4.0 a niskiej firm przemysłu 3.0. Istnieje grupa kilkunastu jednostek terytorialnych, która jest znaczącym obszarem koncentracji firm 3.0, ale jak dotąd nie stała się skupiskiem cyfrowych przedsiębiorstw. Są to w większości średnie miasta i powiaty o silnej funkcji przemysłowej, posiadające niejednokrotnie na swoim terenie wiodące w danej gałęzi firmy w Polsce (np. górnictwo – powiat lubiński, przemysł chemiczny – policki, energetyka i produkcja aluminium – Konin). Natomiast 40% powiatów w Polsce nie posiada na swoim terenie dostrzegalnej liczby przedsiębiorców ani przemysłu 3.0, ani 4.0 (iloraz koncentracji mniejszy niż 0,5). Znajdują się one raczej poza oknem sposobności lokalizacyjnych dla cyfrowych przedsiębiorców. W części pozostałych 40% powiatów w Polsce – które cechują się umiarkowaną koncentracją firm z branży automatyki i robotyki a równocześnie – jak dotąd niską – lub umiarkowaną koncentracją dostawców technologii P4.0 może potencjalnie wykreować się skupienie cyfrowych przedsiębiorstw w przyszłości, zwłaszcza jeśli położone są one w sąsiedztwie liderów technologicznych oraz posiadają na swoim terenie chłonne na rozwiązania 4.0 gałęzie przemysłu.

Ocena potencjału w zakresie możliwości wykształcenia się lub umocnienia skupień cyfrowych przedsiębiorców w P4.0 w przyszłości, wskazuje, że miejscami do tego najbardziej predysponowanymi są miasta rdzeniowe największych polskich obszarów metropolitalnych, najbardziej zaś Wrocław, Warszawa i Katowice a następnie Kraków, Poznań i Gdańsk (ryc. 3). W ścisłej czołówce zestawienia zwraca uwagę obecność Bielska-Białej, jako jedynego miasta pozametropolitalnego i ośrodka niewojewódzkiego. Ukształtowanie się w Bielsku-Białej silnego sektora dostawców technologii P4.0 wynika z istnienia

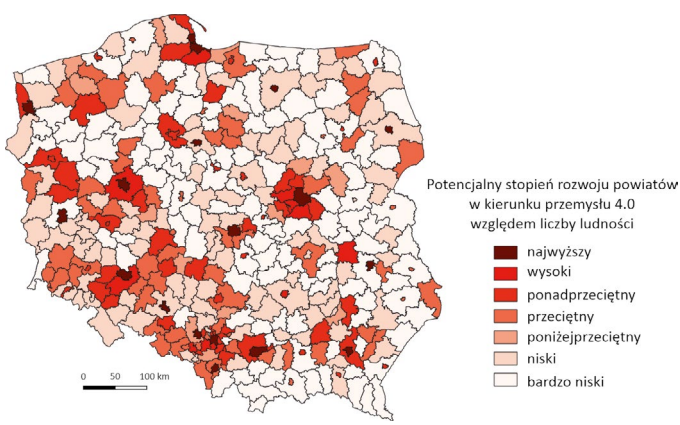
**Tabela 2.** Typologia powiatów pod względem koncentracji dostawców technologii dla przemysłu trzeciej i czwartej generacji
*Typology of counties in terms of the concentration of Industry 3.0 and Industry 4.0 technology providers*

| | Niski poziom rozwoju technologii przemysłu 4.0 (LQ < 0,5) | Wysoki poziom rozwoju technologii przemysłu 4.0 (LQ>1,25 i WpI4.0>0,2) |
|---|---|---|
| Wysoki poziom rozwoju technologii przemysłu 3.0 LQ>1,25 | **Skupienia przemysłu trzeciej generacji** (16) lubiński, Konin, kwidzyński, Koszalin, Krosno, lwówecki, wieluński, lubański, myśliborski, lubliniecki, olkuski, pajęczański, policki, Leszno, Elbląg, mikołowski | **Liderzy technologiczni 4.0** (19) Wrocław, Katowice, Warszawa, Kraków, Poznań, Gdańsk, Bielsko-Biała, Łódź, Rzeszów, Gdynia, Sopot, Opole, Gliwice, Toruń, Zielona Góra, pruszkowski, warszawski zachodni, poznański, Tychy |
| Niski poziom rozwoju technologii przemysłu 3.0 LQ< 0,5 | **Obszary słabiej rozwinięte** (149 powiatów) | **Nowe wyspy innowacji** (3) Lublin, Białystok, wrocławski |

w mieście szerokiego zbioru branż pokrewnych technologicznie (m.in. przemysł samochodowy, lotniczy, maszynowy, automatyki przemysłowej, sektor kreatywny), atrakcyjności rezydencjonalnej miasta oraz proaktywnej polityki interesariuszy, która bazuje m.in. na historycznie ukształtowanych cechach kulturowych tego obszaru: wysokim poziomie kapitału społecznego i przedsiębiorczości. Spośród mniejszych miast wojewódzkich największym potencjałem w kierunku rozwoju kompetencji przemysłu 4.0 odznacza się Rzeszów, posiadający sprzyjającą strukturę gospodarki (m.in. wiedzochłonny przemysł lotniczy, dobrze rozwinięty sektor usług IT) oraz konsekwentnie realizujący od dwóch dekad strategię rozwoju w kierunku ośrodka o charakterze technopolii. Wysokim potencjałem wyróżniają się także niektóre powiaty ziemskie. Są to przede wszystkim jednak powiaty zaliczane do stref metropolitalnych (pruszkowski, piaseczyński, wrocławski, warszawski zachodni, poznański, mikołowski), a z pozostałych najwyższą wartością syntetycznego wskaźnika potencjału odznacza się powiat puławski. Dosyć rozległa strefa o podwyższonym potencjale dla rozwoju obejmuje powiaty południowo-zachodniej części kraju (ryc. 3). Wiązać należy ją z współwystępowaniem w tym obszarze silnych procesów reindustrializacyjnych po 2000 r. (zob. Domański, 2015).

Spośród wyróżnionych pięciu głównych typów branżowych cyfrowych przedsiębiorców bardzo silną koncentrację (na poziomie wszystkich zarejestrowanych w KRS firm, a nie tylko zidentyfikowanych dostawców 4.0) wykazują usługi związane z oprogramowaniem oraz inżynieryjne i IT a ponadto firmy dystrybuujące specjalistyczne maszyny i urządzenia. Silna ich koncentracja obejmuje zaledwie 5-6% powiatów w Polsce i są to niemal wyłącznie obszary metropolitalne i miasta wojewódzkie. Wynik w tej grupie cyfrowych przedsiębiorstw jest zgodny z przewidywaniami Götz i Jankowskiej (2017, s. 1648), które wskazały, że do szerszego rozwinięcia kompetencji P4.0 zdolne są tylko te skupienia przestrzenne (*clusters*), które są „wyposażone w odpowiednią bazę wiedzy i kompetencji w zakresie IT, robotyki, automatyki, tj. technologii kluczowych dla przemysłu 4.0".

Znacznie mniejsza koncentracja, a tym samym większe okno sposobności do rozwoju kompetencji w zakresie P4.0 cechuje dwie pozostałe grupy potencjalnych cyfrowych przedsiębiorstw, tzn. tych którzy mogą rozwinąć się z firm produkujących maszyny i urzą-




**Ryc. 3.** Potencjalne skupienia firm oferujące usługi i produkty zaliczane do rozwiązań przemysłu 4.0 w Polsce
*Poland's potential spatial clusters of companies offering services and products classified as Industry 4.0 solutions*

dzenia oraz zajmujących się instalacją i integracją specjalistycznych maszyn. W przeciwieństwie do metropolitalnych firm start-upowych, które często od samych narodzin konkurują na rynku międzynarodowym (*born global*), dla integratorów i instalatorów ważnym czynnikiem lokalizacji jest bliskość geograficzna najbardziej chłonnych na technologie branż przemysłu przetwórczego (zwłaszcza przemysłu samochodowego, spożywczego, elektronicznego i maszynowego), a także operatorów logistycznych i zakładów energetycznych. Duża koncentracja tych grup potencjalnych cyfrowych przedsiębiorstw obejmuje odpowiednio 16 i 14% powiatów w Polsce, które zlokalizowane są także w obszarach pozametropolitalnych.

## Dyskusja i podsumowanie

Celem niniejszego artykułu było poznanie aktualnego zróżnicowania przestrzennego oraz określenie potencjału w kierunku wykształcenia nowych skupień innowacyjnych działalności gospodarczych, związanych z firmami oferującymi technologie przemysłu 4.0 w Polsce. Znaczenie tego sektora wynika z faktu, że może on stanowić ważny mechanizm, umożliwiający przeskok z poziomu kraju „średnich technologii" do grona gospodarek, których rozwój napędzany jest przede wszystkim przez branże wiedzochłonne. Z faktu tego wynika istotność przeprowadzonej w niniejszej pracy analizy dla polityki regionalnej. W pełni zgadzamy się bowiem z tezą Ballanda i Boschmy (2021, s. 1664), że interwencja publiczna jako punkt wyjścia powinna uwzględniać istotne zróżnicowanie potencjału rozwoju technologii przemysłu 4.0 w skali wewnątrzkrajowej.

Rozpoznane skupienia cyfrowych przedsiębiorców w przemyśle 4.0 wykazują się silną koncentracją w niewielkiej liczbie miast i powiatów, a przede wszystkim w miastach rdzeniowych największych polskich metropolii. Obszary te odznaczają się kombinacją najkorzystniejszych dla rozwoju cyfrowych przedsiębiorstw czynników lokalizacji sprzyjających rozwojowi działalności zaawansowanej technologicznie. Doskonale czynniki te podsumowali Hildebrandt et al. (2014, s. 33), akcentując, że to w obszarach metropolitalnych „koncentruje się infrastruktura oraz kadra badawczo-rozwojowa. To one oferują najlepsze zasoby wysoko wykwalifikowanych pracowników, wykształconych na lokalnych uczelniach oraz zachęconych do migracji poprzez wysoką jakość życia. […] Stanowią również polskie okno na świat, co sprzyja powstającym i działającym w nich przedsiębiorstwom wchodzić na rynki międzynarodowe". Wymienione czynniki, odwołujące się do zmiennych objaśniających wskazanych w części teoretycznej pracy (w punktach 1-3) można interpretować w świetle klasycznej hipotezy inkubacji (Hoover i Vernon, 1959), podkreślającej, że to przede wszystkim duże miasta są sprzyjającym środowiskiem dla nowych firm ze względu na ich cechy strukturalne i powiązania, które generują pozytywne efekty zewnętrzne.

Bardzo zbliżone do autorów wyniki osiągnęli Fassio i Nathan (2020), którzy analizowali rozmieszczenie dostawców technologii P4.0 w Szwecji. 1/4 wszystkich firm skupiał powiat metropolitalny Sztokholmu (czyli niemal identycznie jak w przypadku Warszawskiego OM), dwa razy więcej niż kolejny w hierarchii osadniczej ośrodek – Göteborg. W Polsce przewaga metropolii stołecznej nad najsilniejszymi metropoliami regionalnymi była podobna (1,8 razy). Natomiast w porównaniu do cytowanych wyżej badań Hildebrandt et al. (2014), mających na celu określenie atrakcyjności inwestycyjnej polskich podregionów

dla ogółu działalności zaawansowanych technologicznie, nasze wyniki wskazują na wyższą pozycję niektórych obszarów metropolitalnych (GZM) i miast regionalnych (Rzeszów) położonych w południowej Polsce. Może to wskazywać na rolę bliskości lokalnego i regionalnego rynku zbytu, tworzonego przez firmy przemysłowe średnio-wysokiej (zwłaszcza przemysł motoryzacyjny) i wysokiej techniki (przemysł lotniczy). Ten fakt potwierdza znaczenie pozostałych dwóch grup czynników lokalizacji wymienionych w 2. części niniejszej pracy, a także trafność obserwacji Ballanda i Boschmy (2021) wskazujących na odmienne czynniki lokalizacji technologii P4.0 powiązanych z branżą IT i tych, które są osadzone w technologiach produkcyjnych.

Warto zauważyć, że o ile sama metropolia warszawska skupia aktualnie 1/4 cyfrowych przedsiębiorstw, to w zakresie potencjału dla dalszego rozwoju, mierzonego wskaźnikiem WpI4.0, na bardzo podobnym poziomie sytuują się metropolie regionalne, w szczególności zaś te miasta, które są ośrodkami centralnymi dla regionów, gdzie zlokalizowane są skupienia konkurencyjnych branż przemysłu przetwórczego, a zwłaszcza: Wrocław, Katowice i Gliwice w obrębie GZM, Poznań, Kraków a z mniejszych ludnościowo miast: Rzeszów i Bielsko-Biała. Tym samym podstawową różnicą między geografią cyfrowych przedsiębiorstw w przemyśle 4.0, a geografią sektorów wysokiej techniki (przemysłu i usług) jest większa rola wielofunkcyjnych, dużych ośrodków miejskich położonych w regionach przemysłowych. Wskazuje to na istnienie dodatnich efektów międzybranżowych (zob. Frangenheim et al., 2020; Micek et al., 2022). Kwestia ta powinna być jednak przedmiotem dalszych analiz. Wyniki realizowanych pogłębionych studiów przypadku (Gwosdz et al., 2022; Micek et al., 2022) wskazują, że możliwe są różne modele lokalnego współwystępowania i współzależności między obecnością i dynamiką rozwoju dostawców technologii przemysłu 4.0 a branżami wykazującymi dużą chłonność na technologie przemysłu 4.0, a zwłaszcza przemysłu samochodowego, spożywczego, energetycznego i maszynowego.

Heterogeniczność technologii przemysłu czwartej generacji sprawia, że poszczególne miasta i regiony, w oparciu o dobrze rozpoznany własny potencjał mogą eksplorować różne ścieżki rozwoju lokalnego powiązane z technologiami przemysłu 4.0. Wymagania lokalizacyjne niektórych z nich, powodują, że ciążą one do największych krajowych metropolii i raczej trudno przewidywać ich dekoncentrację i dyfuzję do mniejszych ośrodków. Niemniej, dla średnich i mniejszych miast obiecującym kierunkiem może być np. rozwijanie tzw. cyfrowej produkcji miejskiej (*digital urban production*) w powiązaniu z rozwijającymi się innowacyjnymi formami aktywności, takimi jak przestrzenie typu Makerspace lub FabLabs (Busch et al., 2021)[6]. Wśród pięciu wyróżnionych grup cyfrowych przedsiębiorstw największe szanse na pojawienie się i rozwój w obszarach pozametropolitalnych wykazują ci powiązani z produkcją maszyn i urządzeń oraz zajmujący się instalowaniem i integracją specjalistycznych maszyn i urządzeń. Czynnikiem sprzyjającym jest obecność na ich terytorium lub w obszarach sąsiadujących firm przemysłowych, a także niektórych innych ważnych odbiorców rozwiązań i usług przemysłu 4.0 (np. centrów logistycznych). Zatem regiony przemysłowe, zwłaszcza takie, gdzie znajdują się skupienia przemysłu najbardziej chłonnego na technologie 4.0 mają pewien potencjał do tego, by rozwijać tę ścieżkę rozwoju, niemniej wymagać to będzie z ich strony przemyślanego systemu wsparcia instytucji otoczenia biznesu, zarówno publicznych, jak i komercyjnych. Już obecnie funkcjonują

[6] Makerspace, FabLab (*Fabrication Laboratory*) to ogólnie dostępna przestrzeń, w której można kreatywnie pracować nad fizycznymi obiektami – urzeczywistniać nowe idee i realizować projekty typu „zrób to sam". Jest to swego rodzaju pracownia hobbystyczna epoki cyfrowej (Giersberg, 2014).

w niektórych województwach (np. dolnośląskie, małopolskie, podkarpackie i śląskie) dość zaawansowane ekosystemy wsparcia przemysłu 4.0, pojawiły się też pierwsze strategie lokalne na poziomie miast, które stawiają sobie jako cel aktywne działania w kierunku transformacji cyfrowej i przemysłu 4.0 (np. Jastrzębie Zdrój).

Ocena potencjału terytorialnego w kierunku przemysłu 4.0 w badaniach europejskich opierała się dotychczas głównie na danych patentowych. Autorzy tych analiz podkreślali, że jakkolwiek są one użyteczną miarą potencjału technologicznego, nie pozwalają one jednak na pełną ocenę zdolności terytorium w kierunku rozwoju przemysłu 4.0. Dlatego postuluje się prowadzenie badań w oparciu o inne źródła danych i metody ich analizy. Niniejsza praca opiera się o klasyczną miarę, jaką jest iloraz lokalizacji. Jako wskaźnik koncentracji, iloraz lokalizacji jest dobrym miernikiem minimalnej masy krytycznej zasobów i kompetencji w przypadku trafnego zidentyfikowania branż pokrewnych. Pomiaru ilorazu lokalizacji dokonano dla działalności, które wykazują największe podobieństwo branżowe (na poziomie przeważającej działalności PKD 2007) do zidentyfikowanej grupy testowej 823 cyfrowych przedsiębiorstw. Uzyskany wynik, spójny z rezultatami współczesnych badań światowych opartych na innych miarach, potwierdza nadal aktualność wniosku Issermana (1977, s. 33), że „podejście oparte na współczynniku lokalizacji może być użytecznym narzędziem planowania". Należy wskazać jednak na kilka potencjalnych ograniczeń zastosowanej metody. Po pierwsze, miara jaką jest liczba podmiotów i opierający się na niej iloraz lokalizacji może nie doszacować rolę i potencjał miejsc, gdzie generatorem rozwoju ekosystemu przemysłu 4.0 może stać się jedna lub kilka dużych firm czy też ich filii (zob. Klepper, 2002). Po drugie, jakkolwiek osiągnięte w niniejszej analizie wyniki są zgodne z odkryciami innych autorów (zwłaszcza badań zawartych w monografii pod redakcją De Propris i Bailey (2020), De Propris i Bellandi (2021) oraz Hervas-Oliver et al. (2021)), niewykluczone jest, że stwierdzona bardzo silna koncentracja cyfrowych przedsiębiorstw w największych metropoliach jest nieco mniejsza a potencjał obszarów pozametropolitalnych w kierunku rozwoju przemysłu 4.0 jest jednak nieco większy. Na terenie tych ostatnich obszarów mogą bowiem działać oddziały firm, mające siedzibę w większych miastach (i tam rejestrowane), ponadto nie należy bagatelizować kontrurbanizacyjnego efektu pracy zdalnej, której rola w ostatnich dwóch latach wskutek pandemii COVID-19 silnie wzrosła[7]. Problematyka ta powinna być przedmiotem dalszych badań. Jako interesujące do pogłębionych analiz jawią się szczególnie kwestie faktycznych zdolności obszarów pozametropolitalnych i średnich miast (zwłaszcza o ciągle silnych funkcjach przemysłowych) do rozwoju ekosystemu przemysłu 4.0, w tym modernizacji zlokalizowanych tam gałęzi przemysłu, które są najbardziej podatne na ewolucję w kierunku rozwinięcia bardziej zaawansowanych funkcji i cyfrowych kompetencji. Niezbędne są także dalsze prace analizujące czynniki zróżnicowania terytorialnego poziomu innowacyjności w kontekście cyfryzacji działalności gospodarczych oraz pogłębione analizy lokalne, nakierowane na uchwycenie poszczególnych mechanizmów tworzenia nowych ścieżek rozwoju lokalnego w dynamicznie zmieniającej się rzeczywistości, którą doświadczamy w wyniku czwartej rewolucji przemysłowej.

---

[7] Wg szacunków firmy doradczej Mckinsey, tylko te rodzaje zadań, które można wykonywać w sposób zdalny bez utraty wydajności wzrosły po pandemii 4-5 krotnie, a 20-25% pracowników w rozwiniętych gospodarkach mogłoby pracować w domu od trzech do pięciu dni w tygodniu. Skala taka jest na tyle znacząca, że może spowodować istotne zmiany w geografii pracy (McKinsey Global Institute, 2021).

Niniejszy artykuł jest rozwiniętą, zmienioną i osadzoną w debacie akademickiej wersją tekstu autorów opracowaną na potrzeby raportu Innowacyjność i kreatywność ośrodków miejskich dla Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej w ramach Obserwatorium Polityki Miejskiej IRMIR. Badania zostały sfinansowane w ramach projektu „Cyfrowi przedsiębiorcy w Przemyśle 4.0. Kluczowy mechanizm nowej trajektorii regionów przemysłowych?" – grant NCN OPUS 20 UMO-2020/39/B/HS4/01951 oraz przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz Funduszu Spójności w ramach Programu Pomoc Techniczna.

Ryciny i tabele, pod którymi nie zamieszczono źródła, są opracowaniami własnymi autorów artykułu.

## Piśmiennictwo

Adler, P. & Florida, R. (2021). The rise of urban tech: how innovations for cities come from cities. *Regional Studies*, *55*(10-11), 1787-1800. https://doi.org/10.1080/00130095.2016.1205947

Almeida, P., & Kogut, B. (1999). Localization of knowledge and the mobility of engineers in regional networks. *Management Science*, *45*(7), 905-917.

Arthur, B. (1989). Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical small events. *Economic Journal*, *99*(394), 116-131. https://doi.org/10.2307/2234208

Balland, P.A., & Rigby, D. (2017). The Geography of complex knowledge. *Economic Geography*, *93*(1), 1-23. https://doi.org/10.1080/00130095.2016.1205947

Balland, P.A., & Boschma, R. (2021). Mapping the potentials of regions in Europe to contribute to new knowledge production in Industry 4.0 technologies. *Regional Studies. 55*(10-11), 1652-1666. https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1900557

Baron, M. (2016). Open innovation in old industrial regions. Does old mean closed?. *The International Society for Professional Innovation Management Conference Proceedings*, 1-9. Manchester: ISPIM.

Benko, G. (1993). *Geografia Technopolii*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

Boschma, R.A. (1997). New industries and windows of locational opportunity. A long-term analysis of Belgium. *Erdkunde*, *51*(1), 12-22. https://doi.org/10.3112/erdkunde.1997.01.02

Brodny, J. (red.). (2021). *Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0*. Kraków: Województwo Małopolskie Departament Nadzoru Właścicielskiego i Gospodarki Zespół ds. Zarządzania Inteligentnymi Specjalizacjami.

Brodzicki, T., Rot, P., Szultka, S., Tamowicz, P., Umiński, S., & Wojnicka, E. (2002). *Uwarunkowania rozwoju nowoczesnych technologii w Gdańsku*. Gdańsk: Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową.

Busch, H.C., Mühl, C., Fuchs, M., & Fromhold-Eisebith, M. (2021). Digital urban production: How does Industry 4.0 reconfigure productive value creation in urban contexts? *Regional Studies*, *55*(10-11), 1801-1815. https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1957460.

Capello, R. & Lenzi, K. (2021). *4.0 Technologies and the rise of new islands of innovation in European regions. Regional Studies*, *55*(10-11), 1724-1737. https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1964698

Castaldi, C., Frenken, K., & Los, B. (2015). Related variety, unrelated variety and technological breakthroughs: An analysis of US state-level patenting. *Regional Studies*, *49*(5), 767-781.

Castellacci, F. (2008). Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation. *Research Policy*, *37*(6-7), 978-994. https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.03.011

Checkland, S.G. (1976). *The upas tree, Glasgow 1875-1975*. Glasgow: University of Glasgow Press.

Chiarello, F., Trivelli, L., Bonaccorsi, A. & Fantoni, G. (2018). Extracting and mapping industry 4.0 technologies using Wikipedia. *Computers in Industry*, *100*, 244-257.

Corradini, C., Santini, E. & Vecciolini, C. (2021). The geography of Industry 4.0 technologies across European regions. *Regional Studies*, *55*(10-11), 1667-1680. https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1884216

De Propris, L., & Bailey, D. (2021). *Pathways of regional transformation and Industry 4.0, Regional Studies*, *55*(10-11), 1617-1629. https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1960962

De Propris, L., & Bellandi, M. (2021). *Regions beyond Industry 4.0, Regional Studies*, *55*(10-11), 1609-1616. https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1974374

De Propros, L., & Bailey, D. (2020). *Industry 4.0 and regional transformations*. London-New York: Routledge Taylor&Francis Group.

Dimache, A., & Roche, T. (2013), A decision methodology to support servitisation of manufacturing. *International Journal of Operations & Production Management*, *33*(11-12), 1435-1457. https://doi.org/10.1108/IJOPM-07-2010-0186

Doliński, A. (2022). Przemysł 4.0. Geneza. *Nowoczesny przemysł*, *2*(2), 4-8.

Domański, B. (2015) Współczesne procesy przemian regionalnych przemysłu Polski. *Prace Komisji Geografii Przemysłu PTG*, *29*(4), 40-53.

Drahokoupil, J. (red.). (2020). *The challenge of digital transformation in the automotive industry. Jobs, upgrading and the prospects for development*. Brussels: ETUI aisbl.

Economic and Social Commission for Western Asia. (2001). *Methodology for the assessment of competitiveness of selected existing industries*. New York: United Nations.

European Commission, (2020). *Technologies for Industry*. *Providing useful guidance to industries, policy makers and academics*. Brussels.

Fassio, C., & Nathan, M. (2020). Exploring Industry 4.0 production in Sweden. W: L. De Propris, & D. Bailey (red.), *Industry 4.0 and Regional Transformations* (s. 133-151). New York: Routledge.

Frangenheim, A., Trippl, M., & Chlebna, C. (2020). Beyond the Single Path View: Interpath dynamics in regional contexts. *Economic Geography, 96*(1), 31-51. https://doi.org/10.1080/00130095.2019.1685378

Giersberg, D. (2014). Warsztat kreatywności na miarę XXI wieku. Pobrane z: https://www.goethe.de/ins/pl/pl/kul/mag/20440837.html (14.03.2022)

Götz, M. & Gracel, J. (2017). Przemysł czwartej generacji (Industry 4.0) – wyzwania dla badań w kontekście międzynarodowym. *Kwartalnik Naukowy Uczelni Vistula*, *1*(51), 217-235.

Götz, M. & Jankowska, B. (2017). Clusters and Industry 4.0 – do they fit together?, *European Planning Studies*, *25*(9), 1633-1653. https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1327037

Götz, M. (2020). Przemysł 4.0 to ewoluująca rewolucja. To nie tylko nowe technologie. Pobrane z: https://www.youtube.com/watch? v=3LJsy8PUj5k (21.03.2022)

Grabher, G. (1993). The weakness of strong ties; the lock-in of regional development in Ruhr area. W: G. Grabher (red.), *The embedded firm; on the socioeconomics of industrial networks* (s. 255-277). London-New York: Routledge.

Gracel, J. & Łebkowski, P. (2018). Concept of Industry 4.0-Related Manufacturing Technology Maturity Model (ManuTech Maturity Model – MTMM), *Decision Making in Manufacturing and Services*, *12*(1-2), 17-31.

Gwosdz, K. & Micek, G. (2020). Teoria zależności od ścieżki w polskich studiach regionalnych i geografii ekonomicznej. W: W. Jagodziński & W. Rakowski (red.), *Szlakami geografii ekonomicznej: przestrzeń, instytucje, metodologia: księga jubileuszowa dedykowana profesorowi Kazimierzowi Kucińskiemu* (s. 203-219). Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.

Gwosdz, K. (2004). Koncepcja zależności od ścieżki (*path dependence*) w geografii społeczno-ekonomicznej, *Przegląd Geograficzny*, *76*(4), 433-456.

Gwosdz, K., Baron, M., Hetmańczyk, K., Sobala-Gwosdz, A., & Szczepanek, R. (2022). Does geographical proximity matter? The role of strategic coupling of automotive industry and digital entrepreneurs as the mechanism of new path creation in Polish regions. *Gerpisa colloquium.* https://gerpisa.org/node/6846

Gwosdz, K., Micek, G., Kocaj, A., Sobala-Gwosdz, A., & Świgost-Kapocsi, A. (2020). Industry 4.0 and the prospects for domestic automotive suppliers in Poland. W: J. Drahokoupil (red.), *The challenge of digital transformation in the automotive industry. Jobs, upgrading and the prospects for development* (s. 89-106). Brussels: ETUI.

Hallward-Driemeier, M., & Nayyar, G. (2017). *Trouble in the making? The future of manufacturing-led development*. Washington: World Bank. Pobrane z: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/27946 (16.03.2022)

Hardt, D. (2021). Industry 4.0: Evolution or revolution? Interview with David Hardt. W: C. Petersen (red.), *Fourth Industrial (R) evolution Blind spots, risks, opportunities, and wildcards in a new era of technological change* (s. 8-13). Copenhagen: Copenhagen Institute for Futures Studies.

Harris, J. (2015). *Identifying Science and Technology Businesses in Official Statistics*. London: ONS.

Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (215). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *A Literature Review. Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau, Working Paper,* 1.

Hervas-Oliver, J.L., Di Maria, E., & Bettiol, M. (2021). Industry 4.0 in firms, clusters and regions: the new digital imperative. Competitiveness Review: *An International Business Journal*, *31*(1), 1-11.

Hildebrandt, A. Susmarski, P. Tarkowski, M. Wandałowski, M. (2014). *Atrakcyjność inwestycyjna województw i podregionów Polski 2014*. Gdańsk: Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową.

Hoover, E.M. & Vernon, R. (1959). *Anatomy of a metropolis*. Cambridge: Harvard University Press, Cambridge Mass.

Isserman, A.M. (1977). The Location Quotient Approach to Estimating Regional Economic Impacts. *Journal of the American Institute of Planners*, *43*(1), 33-41. https://doi.org/10.1080/01944367708977758

Jacobs, J. (1969). *The economy of cities*. New York: Random House.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Acatech.

Klepper, S. (2002). Capabilities of new firms and the evolution of the US automobile industry. *Industrial and Corporate Change*, *11*(4), 645-666. https://doi.org/10.1093/icc/11.4.645

Kogler, B. (2021). The digital transformation of SMEs – challenges and opportunities, TO3 Online Thematic Workshop. Pobrane z: https://www.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/plp_uploads/events/Webinars/2021_E-workshop_Digital_transition_of_European_SMEs/Presentation_Koelmel.pdf (15.03.2022)

Lafuente, E., Vaillant, Y., & Vendrell-Herrero, F. (2019). Territorial servitization and the manufacturing renaissance in knowledge-based economies. *Regional Studies*, *53*(3), 313-319.

Lee, K.F. (2018). *AI superpowers: China, Silicon Valley and the new world order*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt.

MacKinnon, D., Dawley, S., Pike, A., & Cumbers, A. (2019). Rethinking Path Creation: A Geographical Political Economy Approach. *Economic Geography*, *95*(*2*), 113-135. https://doi.org/10.1080/00130095.2018.1498294

Massey, D. (1984). *Spatial divisions of labour*. London: Macmillan.

McKinsey Global Institute. (2021). The future of work after COVID-19. Pobrane z: https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-after-covid-19 (17.03.2022).

Ménière, Y. Rudyk, I., & Valdes, J. (2017). *Patents and the Fourth Industrial Revolution. The inventions behind digital transformation*. Munich: European Patent Office.

Micek, G., Gwosdz, K., Kwiatkowski, T., & Panecka-Niepsuj, M. (2017). Nowe branże gospodarki w Krakowie: czynniki i mechanizmy rozwoju. Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, *320*, 18-45.

Micek, G., Gwosdz, K., Kocaj, A., Sobala-Gwosdz, A., & Świgost-Kapocsi, A. (2022). The role of critical conjunctures in regional path creation: a study of Industry 4.0 in the Silesia region. *Regional Studies, Regional Science*, *9*(1), 23-44. https://doi.org/10.1080/21681376.2021.2017337

Ministry of Science London. (2001). Business clusters in the UK – a first assessment – A First Assessment. *Report for the Department of Trade and Industry by a consortium led by Trends Business Research.* London: DTI Publication.

Morris, R. & Penido, M., 2014, How Did Silicon Valley become Silicon Valley? Three Surprising Lessons for Other Cities and Regions, Endeavor Insight. Pobrane z: https://endeavor.org.tr/wp-content/uploads/2016/01/How-SV-became-SV.pdf (17.03.2022)

Neffke, F., Henning, M., & Boschma, R. (2011). How do regions diversify over time? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions. *Economic Geography*, *87*(3), 237-265. https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2011.01121.x

Olson, M. (1982). *The rise and decline of nations. Economic growth, stagnation and social rigidities*. New Haven: Yale University Press.

Palmen, L., & Baron, M. (2020). *Raport z badania dotyczącego analizy potrzeb w zakresie kluczowych kompetencji MŚP w województwie śląskim według Przemysłu 4.0 oraz oceny poziomu gotowości do Przemysłu 4.0 w zakresie zasobów w przedsiębiorstwach, instytucjach otoczenia biznesu i instytucjach badawczo-rozwojowych*, Opracowanie w ramach projektu „40Ready – Strengthening SME capacity to engage in Industry 4.0". Gliwice: Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, InnoCo Sp. z o.o.

Scott, A.J. & Storper, M. (1987). High technology industry and regional development: A theoretical critique and reconstruction. *International Social Science Journal*, *112*, 215-232.

Sendler, U. (2016). Potencjalny hit eksportowy Made in Germany. Możliwości, jakie daje nam Przemysł 4.0. W: *Wyprzedzajmy swoją epokę* (s. 33-48). Besigheim-Ottmarsheim: Müller – Die lila Logistics AG.

Szalavetz, A. (2017). Industry 4.0 in 'factory economies', W: B. Galgóczi & J. Drahokoupil (red.), *Condemned to be left behind? Can Central and Eastern Europe emerge from its low-wage model?* (s. 133-152). Brussels: ETUI.

Szalavetz, A. (2020). Digital entrepreneurs in factory economies. W: J. Drahokoupil (red.), *The challenge of digital transformation in the automotive industry: Jobs, upgrading, and the prospects for development* (s. 107-124). Brussels: European Trade Union Institute.

**Summary**

The aim of the study detailed here has been to identify the spatial pattern describing Poland's providers of *Industry 4.0* technologies (i.e. the so-called digital entrepreneurs), and to determine the territorial potential for future clusters of these activities to develop across the country. To the best of the authors' knowledge, this article represents the literature's very first systematic attempt at a firm-level examination of the current and future "geography" of digital (*Industry 4.0*) enterprises. The identification of technology providers meeting the criterion reflected type of prevailing activity, by reference to international classifications of economic activity. At the first stage, systematic queries involving such various sources as company catalogues, websites of technology parks, clusters and industry associations, databases of the Patent Office of the Republic of Poland and European Patent Office (EPO) and data relating to the use of European Funds in Poland were used to identify 823 digital enterprises. In turn, reference to NACE codes of prevailing activity allowed for the identification of 30 industries represented by more than 0.5% of the companies identified (Annex 1). In a further step, location quotients (*vis-à-vis* the working-age population) were calculated for 426,000 active entities registered in the Polish National Court Register (KRS). This allowed for the identification of spatial concentrations on an industry-by-industry basis (Fig. 1-2). The synthetic indicator constructed (as the sum of weighted location quotients) offers an approximation of the potential particular places in Poland display, when it comes to the development of clusters of *Industry 4.0* technology providers.

The recognised clusters of digital entrepreneurs in *Industry 4.0* show a strong concentration in a small number of cities and counties, and above all in the core cities of the largest Polish metropolises. Currently, the seven largest Polish metropolises concentrate within their limits some 76% of digital entrepreneurs, with the capital city (Warsaw) alone accounting for 24%. Forecasted potential for the future development of digital entrepreneurs, beyond the capital and the regional metropolises, are significant for the multifunctional cities located in those regions where manufacturing companies are dense, in particular classified as medium-tech and high-tech industries. Areas of concentration of digital entrepreneurs of the P4.0 kind show the most marked correlation with clusters of high-technology services ($\chi = 0.71$), while co-location with concentrations of high-technology industries is only at a slightly lower level ($\chi = 0.69$). The correlation between the concentration of digital enterprises and population is much weaker ($\chi = 0.55$), indicating that the geography of digital enterprises is not merely a straightforward reflection of demographic potential. The basis for the difference between the geography of digital enterprises in *Industry 4.0* and the geography of high-technology sectors in Poland lies in the greater role of multifunctional urban centres located in industrial regions in the south of the country in particular. An extensive zone displaying increased potential for development of *I4.0* technology providers is seen to include poviats in the south-west of the country (Fig. 3.). This is in line with ongoing reindustrialisation of the area starting in the late 1990s, and continuing in the early 2000s. This points to the existence of positive inter-path relationships (see Frangenheim et al., 2020; Micek et al., 2022). The heterogeneity of fourth-generation industry technologies means that, on the basis of their own well-recognised potential, individual cities and regions can explore different new paths related to *Industry 4.0* technologies. Of the five main industry types of digital entrepre-

neur distinguished (producers, integrators, distributors, software and engineering/R&D), the strongest territorial concentration is shown by the software and engineering/R&D companies. Much more limited concentration, and thus a larger territorial window of opportunity for the development of *Industry 4.0* competencies, is characteristic of digital enterprises that can grow from machinery manufacturers and specialised repair and maintenance activities. Important location factor for the latter group of enterprises is proximity to manufacturing firms (in contrast to the metropolitan 'born global' start-ups) in a manner that ensures a more-deconcentrated pattern of innovation activities across Polish space.

[Wpłynęło: marzec; poprawiono: maj 2022]

**Załącznik 1**

Najczęstsze kody przeważającej działalności dostawców technologii przemysłu 4.0 (podklasy PKD 2007)

| Kod PKD 2007 | Nazwa Podklasy PKD 2007 | Częstość występowania w bazie cyfrowych przedsiębiorstw 4.0 |
|---|---|---|
| 6201Z | Działalność związana z oprogramowaniem | 0,330 |
| 6202Z | Działalność związana z doradztwem w zakresie informatyki | 0,049 |
| 7112Z | Działalność w zakresie inżynierii i związane z nią doradztwo Techniczne | 0,045 |
| 3320Z | Instalowanie maszyn przemysłowych, sprzętu i wyposażenia | 0,041 |
| 6209Z | Pozostała działalność usługowa w zakresie technologii informatycznych i komputerowych | 0,039 |
| 7219Z | Badania naukowe i prace rozwojowe w dziedzinie pozostałych nauk przyrodniczych i technicznych | 0,039 |
| 4669Z | Sprzedaż hurtowa pozostałych maszyn i urządzeń | 0,035 |
| 2899Z | Produkcja pozostałych maszyn specjalnego przeznaczenia, gdzie indziej niesklasyfikowana | 0,032 |
| 4690Z | Sprzedaż hurtowa niewyspecjalizowana | 0,024 |
| 4651Z | Sprzedaż hurtowa komputerów, urządzeń peryferyjnych i Oprogramowania | 0,019 |
| 4652Z | Sprzedaż hurtowa sprzętu elektronicznego i telekomunikacyjnego oraz części do niego | 0,019 |
| 2829Z | Produkcja pozostałych maszyn ogólnego przeznaczenia, gdzie indziej niesklasyfikowana | 0,017 |
| 4614Z | Działalność agentów zajmujących się sprzedażą maszyn, urządzeń przemysłowych, statków i samolotów | 0,015 |
| 7022Z | Pozostałe doradztwo w zakresie prowadzenia działalności gospodarczej i zarządzania | 0,013 |
| 5829Z | Działalność wydawnicza w zakresie pozostałego Oprogramowania | 0,012 |
| 3312Z | Naprawa i konserwacja maszyn | 0,011 |
| 2611Z | Produkcja elementów elektronicznych | 0,010 |
| 2620Z | Produkcja komputerów i urządzeń peryferyjnych | 0,010 |
| 7410Z | Działalność w zakresie specjalistycznego projektowania | 0,010 |
| 2651Z | Produkcja instrumentów i przyrządów pomiarowych, kontrolnych i nawigacyjnych | 0,009 |
| 6311Z | Przetwarzanie danych; zarządzanie stronami internetowymi (*hosting*) i podobna działalność | 0,009 |
| 2712Z | Produkcja aparatury rozdzielczej i sterowniczej energii elektrycznej | 0,007 |
| 4799Z | Pozostała sprzedaż detaliczna prowadzona poza siecią sklepową, straganami i targowiskami | 0,007 |
| 6203Z | Działalność związana z zarządzaniem urządzeniami Informatycznymi | 0,007 |
| 2630Z | Produkcja sprzętu (tele) komunikacyjnego | 0,006 |

| | | |
|---|---|---|
| 4619Z | Działalność agentów zajmujących się sprzedażą towarów różnego rodzaju | 0,006 |
| 4662Z | Sprzedaż hurtowa obrabiarek | 0,006 |
| 7010Z | Działalność firm centralnych (*head offices*) i holdingów, z wyłączeniem holdingów finansowych | 0,006 |
| 7490Z | Pozostała działalność profesjonalna, naukowa i techniczna, gdzie indziej niesklasyfikowana | 0,006 |
| 2511Z | Produkcja konstrukcji metalowych i ich części | 0,006 |

Opracowanie własne.