

PRZEMYSŁ 4.0

Identyfikacja
trendów technologicznych

Michał Baranowski
Monika Kordowska
Jolanta Pisarek
Zbysław Ziemacki
Mariusz Hetmańczyk
Artur Pollak

NCBR 

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

PRZEMYSŁ 4.0

Identyfikacja
trendów technologicznych

Michał Baranowski

Monika Kordowska

Jolanta Pisarek

Zbysław Ziemacki

Mariusz Hetmańczyk

Artur Pollak

Warszawa 2023

ISBN 978-83-967832-4-0

Spis treści

Streszczenie	5
Najważniejsze liczby	8
Spis wybranych skrótów i pojęć.....	9
I. Wprowadzenie do Przemysłu 4.0.....	12
I.1. Definicje.....	12
I.2. Rys historyczny	15
I.3. Technologie Przemysłu 4.0.....	18
I.4. Cel badania i metody.....	21
II. Wybrane aspekty Przemysłu 4.0	24
II.1. Działalność B+R+I.....	24
II.2. Kompetencje i kształcenie.....	27
II.3. Efekty i korzyści wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0.....	30
III. Trendy technologiczne.....	34
III.1. Megatrendy	34
III.2. Trendy w publikacjach.....	36
III.3. Trendy w patentowaniu.....	44
III.4. Trendy we wnioskach i projektach w NCBR.....	54
IV. Polityka naukowo-techniczna i innowacyjna wobec Przemysłu 4.0	61
IV.1. Przemysł 4.0 w dokumentach strategicznych	61
IV.2. Przykłady zagranicznych rozwiązań wsparcia Przemysłu 4.0	69
IV.3. Programy i finansowanie B+R+I w Polsce	74
Podsumowanie	78
Uwarunkowania rozwoju technologii Przemysłu 4.0	78
Najważniejsze wnioski.....	84
Rekomendacje	85
Bibliografia	88
Bazy danych.....	88
Strony instytucji	88
Artykuły on-line	88
Dokumenty.....	89
Raporty.....	90
Publikacje naukowe	91
Załącznik nr 1. Rekomendacje wsparcia obszarów Przemysłu 4.0	93



Streszczenie

Celem badania jest identyfikacja trendów technologicznych w obszarze Przemysłu 4.0, w tym także trendów i perspektyw rozwojowych oraz polityki naukowo-technicznej i innowacyjnej w tym obszarze.

Publikacja składa się z czterech części. Pierwsza poświęcona jest koncepcji Przemysłu 4.0, druga jej wybranym aspektom, m.in. roli B+R, efektem jej wdrażania oraz kształceniu. Trzecia dotyczy trendów technologicznych w różnych wymiarach: od megatrendów, po kierunki rozwoju zaobserwowane w aktywności publikacyjnej, patentowej oraz projektowej. Jest to spojrzenie przez pryzmat wybranych technologii. W ostatniej, czwartej części przybliżono polityki publiczne i ich narzędzia skierowane na wsparcie Przemysłu 4.0.

Niniejsze badanie pozwoliło na zmapowanie kilku obszarów istotnych dla prowadzenia polityki naukowo-technicznej:

- podstawowych zagadnień i kierunków rozwoju Przemysłu 4.0,
- tendencji rozwojowych w zakresie poszczególnych technologii,
- najważniejszych dokumentów strategicznych, zarówno na poziomie UE, jak i Polski, odnoszących się do Przemysłu 4.0,
- instrumentów, w tym przykładów, finansowania rozwoju Przemysłu 4.0, przede wszystkim dotyczących badań, rozwoju i innowacji,
- bieżących uwarunkowań i czynników wpływających na rozwój Przemysłu 4.0.

Opracowanie zostało przygotowane w oparciu o metody jakościowe (wywiady z beneficjentami NCBR, badanie fokusowe), jak również ilościowe. Analizy ilościowe, oparte na aktywności publikacyjnej (bibliometrii), statystykach patentowych oraz bazach wewnętrznych NCBR, zostały przeprowadzone na podstawie zidentyfikowanych wcześniej słów kluczowych związanych z tematyką Przemysłu 4.0. Przygotowanie publikacji nie byłoby możliwe bez udziału ekspertów: dr. hab. inż. Mariusza Hetmańczyka, prof. Politechniki Śląskiej i dr. inż. Artura Pollaka, prezesa APA Group. Ich ekspertyzy, opinie i komentarze pozwoliły m.in. na umiejscowienie wyników badań w realiach polskiej gospodarki przełomu 2022 i 2023 roku.

Informacje w opracowaniu zostały przedstawione w możliwie zwartej i skrótowej formie – tak, aby ułatwić przyswojenie koncepcji i zakresu terminu Przemysłu 4.0 oraz przedstawić podstawowe informacje dotyczące szerszego kontekstu strategicznego, trendów, uwarunkowań oraz instrumentów finansowania. Niektóre spośród tych tematów mogłyby stanowić przedmiot odrębnych, pogłębionych opracowań. Publikacja skupia się przede wszystkim na potencjale rozwojowym poszczególnych technologii z perspektywy wsparcia publicznego, głównie prac badawczo-rozwojowych. Równoległe powstało pogłębiające opracowanie dotyczące jednego z podobszarów omawianego tematu – Rolnictwa 4.0.

Z szerszym kontekstem i szczegółowymi informacjami odnośnie do Przemysłu 4.0 można zapoznać się w publikacjach, których spis można znaleźć na końcu opracowania. Omawiane wątki można także częściowo odnaleźć w opracowaniu „Cy-

frowa przyszłość dzieje się u nas”, wydanym w 2022 roku przez NCBR (NCBR 2022a). Istotnym źródłem informacji jest również strona Fundacji Platformy Przemysłu Przyszłości (www.przemyslprzyszlosci.gov.pl).

KLUCZOWE WNIOSKI

- Przewodzącym trendem jest rozwój sztucznej inteligencji i powiązanego z nią uczenia maszynowego.
- Widoczne jest względne, mierzone liczbą publikacji, zmniejszenie zainteresowania niektórymi technologiami, takimi jak AR.
- Pozycja Polski w zakresie tworzenia technologii Przemysłu 4.0 jest niska na tle krajów UE.
- Przewagą i mocną stroną Polski pozostaje względnie znacząca rola przemysłowych przedsiębiorstw integratorskich, których silnymi stronami są: elastyczność, szybkość i jakość wdrożeń.
- Technologie i zagadnienia mieszczące się w zakresie Przemysłu 4.0 występują w strategiach rozwojowych na szczeblu centralnym, ale są raczej kwestiami pobocznymi. Brak jest strategicznego dokumentu wskazującego obszary o największym potencjale rozwojowym w zakresie nowoczesnych technologii, a także identyfikacji potencjału rozwojowego poszczególnych gałęzi przemysłu w Polsce, posiadanych technologii i istniejących przewag komparatywnych.

KLUCZOWE REKOMENDACJE

- Wymagana jest pogłębiona analiza mocnych i słabych stron potencjalnych obszarów wsparcia. Brakuje dokumentu strategicznego, który zastąpiłby Krajowy Program Badań. Pozwoliłby on skoncentrować wysiłki państwa na optymalnych obszarach z punktu widzenia alokacji zasobów.
- Zakres zastosowań elementów Przemysłu 4.0 jest bardzo szeroki, a większość rozwiązań i projektów może być wspierana w ramach programów horyzontalnych, np. ścieżki SMART. Niemniej warto identyfikować „polskie specjalizacje” (szczególnie obszary o dużym potencjale rozwojowym), które na obecnym etapie wymagają wsparcia ze środków publicznych.
- Istotne dla rozwoju Przemysłu 4.0 jest wprowadzenie programów rozwoju kompetencji w jego zakresie i podjęcie działań mających na celu ograniczenie deficytu specjalistów i drenażu talentów.

SŁOWA KLUCZOWE:

Polska; Przemysł 4.0; trendy; robotyka; AR; rozszerzona rzeczywistość; VR; wirtualna rzeczywistość; AI; sztuczna inteligencja; druk 3D; chmura obliczeniowa; blockchain, internet rzeczy; IoT; big data; uczenie maszynowe; cyfrowy bliźniak; przetwarzanie brzegowe; działalność innowacyjna; badania i rozwój; B+R; polityka naukowo-techniczna.

Najważniejsze liczby

- 7** miejsce, które zajmuje Polska w UE pod względem liczby publikacji dotyczących technologii Przemysłu 4.0
- 24** miejsce, które zajmuje Polska na świecie pod względem liczby publikacji dotyczących technologii Przemysłu 4.0
- 40%** odsetek ankietowanych beneficjentów NCBR deklarujących, że mają w swojej strategii (formalnej lub nieformalnej) elementy dotyczące cyfryzacji lub automatyzacji
- 301** liczba publikacji polskich autorów dotyczących technologii Przemysłu 4.0, które powstały dzięki dofinansowaniu NCBR w latach 2010–2021
- 981** liczba dofinansowanych przez NCBR projektów z zakresu technologii Przemysłu 4.0 w latach 2015–2021
- 4233** liczba wniosków złożonych do NCBR z zakresu technologii Przemysłu 4.0 w latach 2015–2021
- 2,7 mld** euro – łączne budżety trzech partnerstw w ramach Horyzontu Europa, które są powiązane tematycznie z technologiami Przemysłu 4.0

Spis wybranych skrótów i pojęć¹

B+R+I – badania, rozwój i innowacje

B+R – badania i rozwój

BERD (*business expenditures on research and development*) – nakłady sektora przedsiębiorstw na działalność B+R

CPC (*Cooperative Patent Classification, wspólna klasyfikacja patentowa*) – system klasyfikacji patentów używany przez Europejski Urząd Patentowy (EPO, European Patent Office) i Urząd Patentów i Znaków Towarowych Stanów Zjednoczonych (USPTO, *United States Patent and Trademark Office*)

CSR (*corporate social responsibility, społeczna odpowiedzialność biznesu*) – koncepcja budowania strategii przez przedsiębiorstwo uwzględniająca interes społeczny i ochronę środowiska

Dark factory – zautomatyzowana fabryka działająca bez udziału człowieka (niepotrzebne jest w niej światło)

DIH (*Digital Innovation Hub, Hub Innowacji Cyfrowych*) – ośrodek pomagający przedsiębiorcom w transformacji cyfrowej, koordynowany przez Platformę Przemysłu Przyszłości

EDIH (*European Digital Innovation Hub*) – Europejski Hub Innowacji Cyfrowych

ESG (*environmental, social, and corporate governance*) – zbiór kryteriów służących do raportowania niefinansowego działalności spółek. E – kryteria środowiskowe (*environmental*), S – kryteria społeczne (*social*) i G – kryteria ładu korporacyjnego (*corporate governance*)

FENG (*Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki*) – finansowany z Funduszy Europejskich program operacyjny na lata 2021–2027

FFG (*die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft, Austriacka Agencja Promocji Badań*) – austriacka agencja finansująca badania przemysłowe i prace rozwojowe

FPPP (*Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości*) – powołana w 2019 organizacja, której celem jest wspieranie transformacji polskich przedsiębiorstw w kierunku Przemysłu 4.0

GUS (*Główny Urząd Statystyczny*) – organ administracji rządowej właściwy w sprawach statystyki

ICT (*information and communication technologies*) – technologie informacyjne i komunikacyjne

¹ W sytuacji, gdy dane pojęcie nie ma jeszcze ugruntowanego polskiego odpowiednika, na pierwszym miejscu znajduje się nazwa angielskojęzyczna.

IPCEI (*Important Projects of Common European Interest*) – ważny projekt wspólnego zainteresowania; mechanizm wsparcia stosowany przez Komisję Europejską

IoB (*internet of behaviours, internet zachowań*) – polega na gromadzeniu, łączeniu i przetwarzaniu danych oraz wykorzystywaniu ich do zmiany postępowania ludzi

KET (*key enabling technologies*) – kluczowe technologie wspomagające, czyli technologie wskazane przez Komisję Europejską, które mają przyczynić się do pobudzenia innowacyjności i produktywności

MES (*manufacturing execution system*) – system informatyczny, który łączy, monitoruje i steruje złożonymi systemami produkcyjnymi oraz przepływem danych w hali produkcyjnej

MKP (Międzynarodowa Klasyfikacja Patentowa, *International Patent Classification, IPC*) – system klasyfikacji patentów używany w ponad stu krajach świata

MPiT (Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii, 2018–2019) – w chwili obecnej Ministerstwo Rozwoju i Technologii, MRiT

MŚP (małe i średnie przedsiębiorstwa) – przedsiębiorstwa, które zatrudniają mniej niż 250 pracowników i których roczny obrót nie przekracza 50 milionów euro lub całkowity bilans roczny nie przekracza 43 milionów euro

NCBR (Centrum, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju) – rządowa agencja wykonawcza realizująca zadania z zakresu polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa

PARP (Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości) – agencja rządowa wspierająca przedsiębiorczość, od 2019 roku w strukturach Grupy PFR

Grupa PFR (Grupa Polskiego Funduszu Rozwoju) – grupa instytucji finansowych i doradczych dla przedsiębiorców

PO IG (Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka) – finansowany z Funduszy Europejskich program operacyjny na lata 2007–2013

PaaS (*platform-as-a-service, platforma jako usługa*) – model usługi polegający na udostępnieniu wirtualnego środowiska pracy (platformy), zazwyczaj programistom

PLM (*product lifecycle management, zarządzanie cyklem produktu*) – proces zarządzania cyklem życia produktu, od jego koncepcji po recykling

PO IR (Program Operacyjny Inteligentny Rozwój) – finansowany z Funduszy Europejskich program operacyjny na lata 2014–2020

Przemysłowy internet rzeczy (IIoT, *industrial internet of things*) – przemysłowe zastosowanie internetu rzeczy, czyli urządzeń połączonych w sieć

RFID (*radio-frequency identification*) – technologia wykorzystująca fale radiowe do identyfikacji oznakowanego obiektu

SaaS (*software-as-a-service, oprogramowanie jako usługa*) – model licencjonowania i dostarczania oprogramowania komputerowego za pośrednictwem sieci, np. poprzez przeglądarkę internetową

TAČR (Technologická Agentura České Republiky, Agencja Technologiczna Republiki Czeskiej) – agencja wspierająca badania stosowane w Czechach

Web of Science (WoS) – jedna z największych na świecie platform/ dostępnych baz danych, zawierająca informacje o publikacjach naukowych (artykułach, materiałach konferencyjnych, książkach); w Polsce kiedyś znana jako tzw. „lista filadelfijska”, wykorzystywana do pomiaru efektywności badań naukowych

Definicje kluczowych dla przemysłu 4.0 technologii: *big data*, blockchain, cyfrowego bliźniaka (DT, *digital twin*), internetu rzeczy (IoT, *internet of things*), przetwarzania brzegowego (*edge computing*), przetwarzania chmurowego (CC, *cloud computing*), rzeczywistości rozszerzonej (AR, *augmented reality*), rzeczywistości wirtualnej (VR, *virtual reality*) i uczenia maszynowego (ML, *machine learning*) zawarto w części I.3.

I. Wprowadzenie do Przemysłu 4.0

Niniejszy rozdział przedstawia definicje Przemysłu 4.0 oraz genezę i wyzwania związane z definiowaniem tego pojęcia. Rozdział uzupełniają podstawowe informacje o technologiach Przemysłu 4.0. Zamknięcie stanowi analiza celów i metod zastosowanych w badaniu.

I.1. Definicje

Przemysł 4.0 jest koncepcją względnie nową. Pojęcie po raz pierwszy pojawiło się w 2011 roku². Zdążyło się ono upowszechnić (głównie dzięki jego praktycznemu wymiarowi), aczkolwiek nadal nie jest dobrze znane i rozumiane. Opinia ta wynika nie tylko z badań (w badaniu Autodesk z 2020 roku 30% respondentów przyznało, że choć znany jest im termin Przemysł 4.0, to go nie rozumie – Autodesk, 2020), ale oparta jest na rozmowach z ekspertami, a także z beneficjentami NCBR. Ci ostatni w niektórych przypadkach nie znali terminu Przemysł 4.0, pomimo tego, że rozwijali rozwiązania, które klasyfikują się do tego obszaru. Także prosta analiza liczby zapytań w Google Trends dotycząca *Industry 4.0* pokazuje malejące zainteresowanie terminem po 2017 roku na świecie i bardzo niewielkie zainteresowanie w Polsce. Być może jedną z przyczyn jest to, że pojęcie

Przemysłu 4.0 nie tylko nie jest intuicyjne, ale może być mylące – nie odnosi się bowiem wyłącznie do przemysłu, ale również do innych obszarów gospodarki.

Przemysł 4.0 jest różnie definiowany i ujmowany przez poszczególne organizacje albo ekspertów zajmujących się zagadnieniem. Chociaż pojawia się w oficjalnych dokumentach, brak jest jednej, uznanej międzynarodowo definicji, a także standardów, jak ją ujmować i jak mierzyć – co utrudnia szczegółową analizę zjawiska. Niemniej najważniejsze elementy poszczególnych definicji pozwalają zidentyfikować, w jaki sposób pojęcie to może być rozumiane. Definicje te kładą nacisk na różne aspekty zmiany cyfrowej, z czego najważniejsze są trzy elementy: **transformacja**, **technologie** (przede wszystkim cyfrowe), a także wynikające z ich zastosowania nowe **modele biznesowe**.

² W tym samym roku ukazała się książka Jeremy'ego Rifkina, w której zakres pojęcia Przemysł 4.0 został określony jako „trzecia rewolucja przemysłowa” (Rifkin, 2012), co pokazuje, jak płynna jest to kwestia (paradygmat), jeśli chodzi o nazewnictwo.

Tab. 1. Cechy Przemysłu 4.0 w wybranych definicjach pojęcia

Polska Platforma Przyszłości (2021)	Hetmańczyk (2022)	GUS (2020)	Polski Przemysł 4.0 (2018)	DeLab UW (2019a)	PWC (2016)
Transformacja technologiczna i organizacyjna przedsiębiorstwa	Technologiczny paradygmat, skupiony wokół obiektów cyberfizycznych	Cyfryzacja produkcji	Zbiór zaawansowanych technik	Złożony proces transformacji technologicznej i organizacyjnej	Innowacyjne i zdigitalizowane modele biznesowe
Integracja łańcuchów wartości, nowych modeli biznesowych oraz cyfryzacji	Zwiększona efektywność osiągnięta dzięki łączności cyfrowej i sztucznej inteligencji	Przepływ danych i samodzielne komunikowanie się maszyn	Sposób myślenia o biznesie, zarządzaniu i budowaniu łańcucha wartości	Technologie cyfrowe	Digitalizacja produktów i całego portfolio usług
Zastosowanie nowych technologii cyfrowych, baz danych oraz kooperacji maszyn, urządzeń i ludzi		Zaawansowane technologie informatyczne	Korzyści ekonomiczne (obniżenie kosztów wytwarzania, standaryzacja, podwyższenie jakości, przewidywanie awarii)	Wykorzystanie danych do osiągnięcia przewagi konkurencyjnej	Pozioma i pionowa digitalizacja i integracja łańcucha wartości
		System produkcyjny z zastosowaniem IoT		Możliwość prowadzenia optymalnej produkcji spersonalizowanej	

Źródło: opracowanie własne

Poniżej przedstawiamy przykłady definicji Przemysłu 4.0. Pierwsza skupia się na kwestiach procesowych:

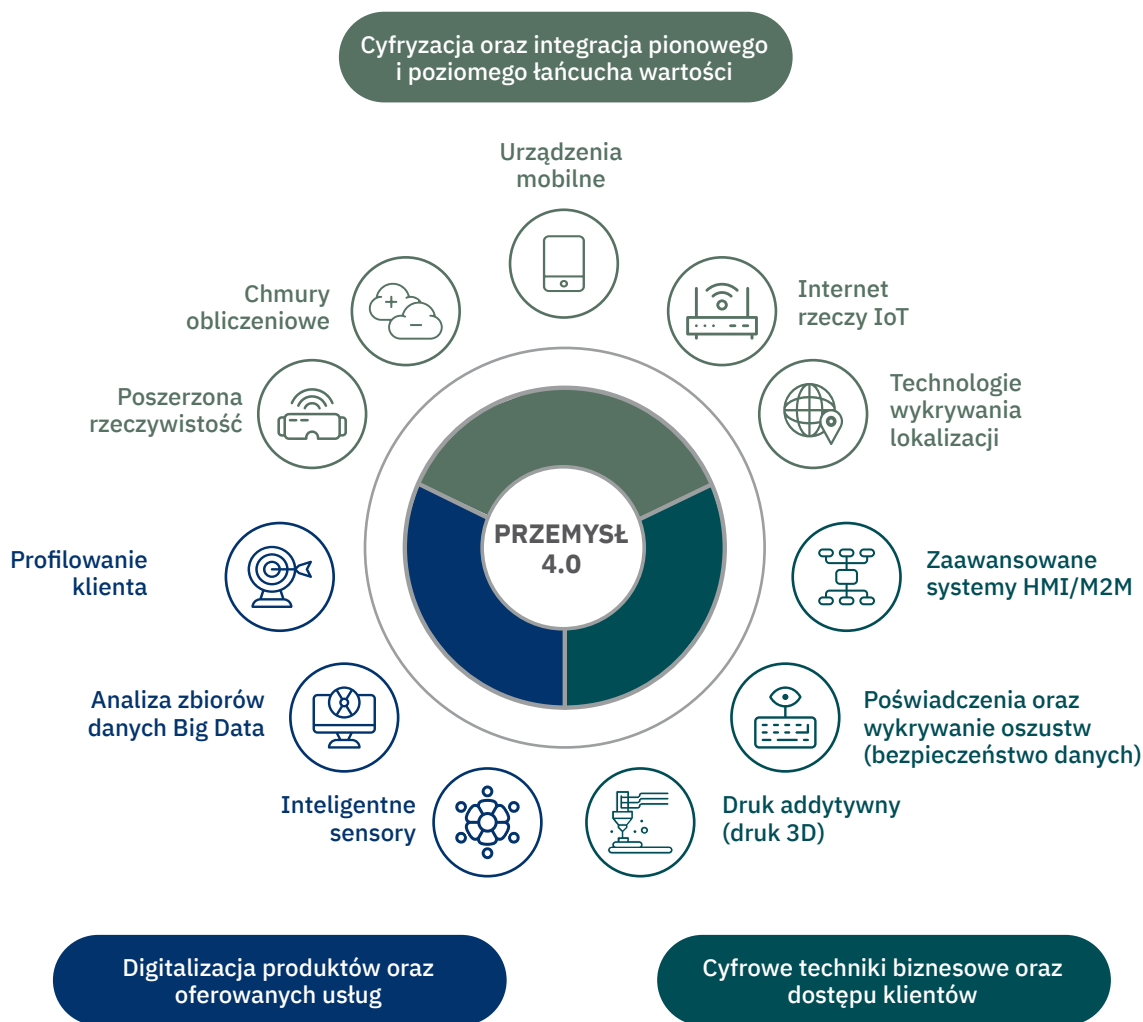
Czwarta rewolucja przemysłowa, nazywana w uproszczeniu Przemysłem 4.0, to koncepcja procesu transformacji technologicznej i organizacyjnej przedsiębiorstwa, integrująca ze sobą łańcuch wartości, nowe modele biznesowe oraz cyfryzację. Integracja ta wiąże się z wykorzystaniem nowych technologii cyfrowych, baz danych oraz kooperacji maszyn, urządzeń i ludzi³.

Kolejną kładzie nacisk na aspekt technologiczny:

Przemysł 4.0 stanowi zasadniczo technologiczny paradygmat, skupiony wokół obiektów cyberfizycznych i zwiększonej efektywności osiągniętej dzięki łączności cyfrowej i sztucznej inteligencji AI (ang. artificial intelligence). Pierwotnie podana definicja Przemysłu 4.0 skupiała się głównie na podmiotach przemysłowych (tj. wytwórczych, rys. 1) i stanowiła ujęcie przeznaczone dla zakładów produkcyjnych.

³ <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/>, dostęp 04.11.2021 r.

Rys. 1. Definicja Przemysłu 4.0 oparta na filarach nowoczesnych technologii



Źródło: opracowanie własne (Mariusz Hetmańczyk, na podstawie: <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/przemysl-4-0-teraz-jeszcze-bardziej-potrzebny/>)

W tak zdefiniowanym podejściu główny nacisk został położony na zastosowanie nowoczesnych technologii, bez jasnego określenia celu ich zastosowania oraz wzajemnych powiązań. W miarę upowszechniania koncepcji okazało się, że jest ona kojarzona z rewolucyjnymi zmianami, dużymi nakładami

inwestycyjnymi, jak również z koniecznością szerokiego uświadomienia zespołów ją wdrażających. Powyższe kwestie (technologie, aspekty świadomościowe i kompetencyjne), uzupełnione o aspekt prac badawczo-rozwojowych, stanowią najważniejszą część niniejszego opracowania.

I.2. Rys historyczny

Pojęcie Przemysłu 4.0 oparte jest o koncepcję rewolucji przemysłowych związanych z postępowaniem technologicznym. Rewolucja przemysłowa w tym ujęciu oznacza gwałtowną zmianę w systemach gospodarczych i społecznych związanych z wynalazkami.

W podejściu tym wyróżnia się pierwszą rewolucję przemysłową, będącą następstwem postępującej rewolucji agrarnej, polegającą na korzystaniu z mechanizacji opartej przede wszystkim o silnik parowy (XVIII w.). Druga rewolucja technologiczna oparta była o elektryczność i wprowadzenie linii produkcyjnej (XIX/XX w.). Z kolei rozwój auto-

matyzacji produkcji, elektroniki i komputerów (w tym osobistych) oraz opartych na nich systemów traktowany jest jako trzecia rewolucja przemysłowa (lata 60.–90. XX w.) (Schwab, 2018). Podział ten stanowił podstawę do wprowadzenia pojęcia czwartej rewolucji przemysłowej. Sam termin Przemysł 4.0 po raz pierwszy pojawił się w 2011 roku w Niemczech. Z kolei w 2021 roku Unia Europejska wprowadziła pojęcie Przemysłu 5.0⁴. Wizja ta odchodzi od wąskiego skupienia na technologii i przesuwają punkt ciężkości w stronę koncentracji w większym stopniu na człowieku, zrównoważonym rozwoju, elastyczności i odporności (KE, 2021c).

Rys. 2. Cztery rewolucje przemysłowe



Źródło: opracowanie własne na podstawie Martins A. (2018) The Overlooked Value of Digital Transformation <https://medium.com/design-and-tech-co/the-overlooked-value-of-digital-transformation-da66c9134b0d>

⁴ Termin po raz pierwszy został użyty w 2017 roku.



Koncepcja Przemysłu 4.0 nawiązuje do wcześniejszych rozważań dotyczących poszczególnych etapów przemian związanych ze zmianami technologicznymi i ich konsekwencjami (np. A. Toffler, 1980), a także do koncepcji ekonomicznych dotyczących cykli gospodarczych. W szczególności wiąże się to z teorią cykli (fal) Kondratiewa. Zakłada ona istnienie występujących co około 50–60 lat cykli rozwojowych, opartych na przelomach technologicznych. Zmodyfikowane podejścia do tej teorii wykorzystują podobne podziały, jak w przypadku rewolucji przemysłowych, są one jednak oparte o konkretne technologie, np. maszyna parowa, kolej, chemia, elektryczność, silnik spalinowy, teleinformatyka. Niestety trudność w empirycznym potwierdzeniu teorii powoduje, że równolegle funkcjonuje szereg podejść wykorzystujących inne podziały i technologie. Teoria cykli Kondratiewa jest akademicko rozwijana, np. przez Carlotę Pérez, do postaci wspo-

minanych rewolucji technologicznych (Pérez, 2002, 2009).

Pojęcie rewolucji przemysłowej samo w sobie jest dość szerokie, a zauważalnym trendem jest absorpcja dostępnych rozwiązań technologicznych do różnych obszarów europejskich i światowych gospodarek. W latach 2011–2022 wpływały one między innymi na rozwój rolnictwa, jakości produkcji, łańcuchów dostaw, sprzedaży, opieki zdrowotnej, farmacji czy energetyki. Po utożsamieniu rewolucji przemysłowej z pojęciem Przemysłu 4.0, do nazw poszczególnych obszarów rozwijanych pod wpływem wspomnianej koncepcji, przez analogię, zaczęto dodawać rozszerzenie „4.0” – np. Rolnictwo 4.0, Farmacja 4.0 czy Chemia 4.0. Takie przyporządkowanie pozwala na rozwój poszczególnych technologii w ramach zawężonych obszarów, przygotowując rozwiązania dopasowane do specyficznych potrzeb i oczekiwań odbiorców. Ich zestawienie przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Obszary rozwijane pod wpływem wdrożenia koncepcji Przemysłu 4.0

Obszar Przemysłu 4.0	Podstawowe założenia w ramach danego obszaru
Agriculture 4.0 (Rolnictwo 4.0)	Zastosowanie IoT, big data, AI i robotyki w celu rozszerzenia, przyspieszenia i zwiększenia efektywności działań, które dotyczą całego łańcucha produkcyjnego; Rolnictwo 4.0 obejmuje czujniki do monitorowania warunków na polu i upraw, drony do precyzyjnej aplikacji nawozów i środków owadobójczych oraz śledzenia upraw zgodnie ze strategią „od pola do stołu”
Quality 4.0 (Jakość 4.0)	Rozszerzenie tradycyjnych metod kontroli i zapewnienia jakości o nowe technologie w celu optymalizacji doskonałości operacyjnej i zwiększenia bezpieczeństwa pracowników, w tym technologie takie, jak chmura obliczeniowa, AI i urządzenia połączone; termin odnosi się do przyszłości jakości i doskonałości organizacyjnej w kontekście Przemysłu 4.0
Supply Chain 4.0 (Łańcuch dostaw 4.0)	Zastosowanie inteligencji rzeczy i big data w połączeniu z tworzeniem oprogramowania logistycznego na zamówienie, nauką o danych, cyfrową łącznością i wieloma innymi inteligentnymi technologiami Przemysłu 4.0; głównym celem jest integracja i koordynacja działań w całym łańcuchu dostaw
Retail 4.0 (Sprzedaż detaliczna 4.0)	Cyfryzacja fizycznych doświadczeń zakupowych poprzez integrację nowych technologii sprzedaży detalicznej i przechwytywania danych; opracowanie bardziej wydajnych i produktywnych praktyk biznesowych poprzez zastosowanie technologii <i>big data</i> , <i>cloud computing</i> , wytwarzanie przyrostowe i rozszerzoną rzeczywistość (AR)
Healthcare 4.0 (Opieka zdrowotna 4.0)	Zastosowanie różnych elementów łączności Przemysłu 4.0 do przechwytywania ogromnej ilości danych i ich analizy w celu podejmowania inteligentnych decyzji dotyczących zarządzania opieką zdrowotną (umożliwiając jednocześnie poprawę efektywności i kontroli kosztów)
Pharma 4.0 (Farmacja 4.0)	Zastosowanie koncepcji Przemysłu 4.0 w przemyśle farmaceutycznym i <i>lifesciences</i> ; w szczególności skupienie na zbieraniu i analizie nieustrukturyzowanych i rozproszonych danych w ramach regulowanych procesów produkcji i dystrybucji, w celu zwiększenia jakości i wydajności
Energy 4.0 (Energia 4.0)	Zastosowanie łączności Przemysłu 4.0 do zmiany sposobu, w jaki firmy energetyczne i przedsiębiorstwa użyteczności publicznej angażują się i współdziałają ze swoimi klientami poprzez rozwój inteligentnych sieci, zarządzanie energią odnawialną i rozproszonym wytwarzaniem
Chemistry 4.0 (Chemia 4.0)	Poprawa bezpieczeństwa w produkcji i dystrybucji substancji chemicznych, wdrażanie nowoczesnych, innowacyjnych, w pełni zautomatyzowanych technologii prośrodowiskowych; tworzenie cyfrowych bliźniaków

Źródło: opracowanie własne

I.3. Technologie Przemysłu 4.0

- Pojęcie Przemysłu 4.0 związane jest z szeregiem technologii opartych o dane.
- Brak jest jednego katalogu technologii Przemysłu 4.0, ale można wskazać, jakie są główne filary oraz technologie adaptowane w poszczególnych obszarach Przemysłu 4.0.

Nowe technologie i ich zastosowania są kluczowym elementem definiującym Przemysł 4.0. Niemniej nie ma jednoznacznego katalogu technologii, które się na niego składają.

Poniżej wskazano szesnaście filarów technologicznych Przemysłu 4.0, które w dużej mierze oparte są o rozwój elektroniki, inżynierii i informatyki.

Tab. 3. Charakterystyka głównych filarów technologicznych Przemysłu 4.0

Charakterystyka	
Roboty autonomiczne (ang. <i>autonomous robots</i>)	Inteligentne maszyny zdolne do samodzielnego wykonywania zadań w środowisku przemysłowym, bez wyraźnej kontroli człowieka (Bekey, 2017)
Przetwarzanie w chmurze (ang. <i>cloud computing</i>)	Termin określający każdą działalność, która obejmuje dostarczanie usług hostowanych przez internet; usługi te podzielono na trzy kategorie: infrastruktura jako usługa IaaS (ang. <i>infrastructure-as-a-service</i>), platforma jako usługa PaaS (ang. <i>platform-as-a-service</i>) i oprogramowanie jako usługa SaaS (ang. <i>software-as-a-service</i>) (Sosinsky, 2011), (Fuhrt, Escalante, 2010)
Rozszerzona rzeczywistość (ang. <i>augmented reality</i>)	Wykorzystanie w czasie rzeczywistym informacji w postaci tekstu, grafiki, dźwięku i innych wirtualnych ulepszeń zintegrowanych z obiektami świata rzeczywistego; AR integruje i dodaje wartość do interakcji użytkownika ze światem rzeczywistym w porównaniu z symulacją (Fuhrt, 2011)
Wielopoziomowa interakcja z klientem i profilowanie klienta (ang. <i>multilevel customer interaction and customer profiling</i>)	Wszelkie działania związane z pozyskiwaniem wiedzy o bieżących lub potencjalnych klientach (lub grupie klientów)
Analityka dużych zbiorów danych (ang. <i>big data analytics</i>) i algorytmy	Operowanie na wysokonakładowych, szybkobieżnych i/lub bardzo zróżnicowanych zasobach informacyjnych, które wymagają opłacalnych, innowacyjnych form przetwarzania informacji umożliwiających lepszy wgląd w procesy, podejmowanie decyzji i automatyzację procesów
Inteligentne czujniki (ang. <i>smart sensors</i>)	Jednostki pomiarowe i pakiety przyrządów, które są sterowane mikroprocesorami i zawierają funkcje komunikacji i diagnostyki, dostarczając informacje do systemu monitorowania lub operatora w celu zwiększenia wydajności operacyjnej oraz ograniczenia kosztów konserwacji
Wytwarzanie przyrostowe (druk 3D; ang. <i>additive manufacturing</i>)	Możliwość tworzenia fizycznych obiektów z cyfrowo zakodowanego projektu poprzez osadzanie materiału w procesach druku 3D (Redwood i in., 2017)

Cyberbezpieczeństwo (ang. <i>cybersecurity</i>); uwierzytelnianie i wykrywanie oszustw	<p>Praktyka ochrony komputerów, serwerów, urządzeń mobilnych, systemów elektronicznych, sieci i danych przed złośliwymi atakami; cyberbezpieczeństwo może obejmować: bezpieczeństwo sieci oraz aplikacji, bezpieczeństwo informacji, bezpieczeństwo operacyjne, odtwarzanie po awarii i zapewnienie ciągłości działania, edukację użytkowników końcowych (Meeuwisse, 2017)</p>
Zaawansowane interfejsy człowiek-maszyna	<p>Interfejsy do interakcji człowieka z maszynami; w przypadku ciągłego przepływu informacji pomiędzy urządzeniami używane są interfejsy maszyna-maszyna M2M (ang. <i>machine-to-machine</i>); połączenia i komunikacja za pośrednictwem IIoT (ang. <i>industrial internet of things</i>) realizowane są przez interfejsy człowiek-maszyna H2M (ang. <i>human-to-machine</i>) (Parker, 2019)</p>
Technologie wykrywania lokalizacji (ang. <i>location detection technologies</i>)	<p>Wysoce precyzyjne wewnętrzne i zewnętrzne systemy do śledzenia w czasie rzeczywistym, które rejestrują dokładne informacje o lokalizacji w 2D lub 3D dowolnych zasobów (ludzi, aktywów lub wszelkich prac w toku) (Parker, 2019) (Choudhury i in., 2017) (Jimenez, 2018) (Radovan, 2019)</p>
Internet rzeczy IoT (ang. <i>internet of things</i>)	<p>Rozszerzenie internetu i innych połączeń sieciowych o czujniki, akulatory, a nawet proste przedmioty codziennego użytku; istnieją różne modele konfiguracji urządzeń IoT, m.in. <i>device-to-device</i>, <i>device-to-cloud</i>, <i>device-to-gateway</i>, <i>back-end data-sharing</i> (Gilchrist, 2016) (McKinsey, 2015) (IOT Analytics, 2015) (IBM, 2016) (Veneri, Capasso, 2018)</p>
Internet usług IoS (ang. <i>internet of services</i>)	<p>Nowy model biznesowy, który radykalnie zmienił sposób odkrywania i wywoływania usług; jest to również technologia <i>blockchain</i> nowej generacji, która zapewni infrastrukturę sieciową wspierającą ekosystem zorientowany na usługi (Veneri, Capasso, 2018)</p>
Urządzenia mobilne (ang. <i>mobile devices</i>)	<p>Zastosowanie urządzeń mobilnych podłączonych do internetu do celów kontrolnych, monitorowania stanu pracy, diagnostyki, podglądu danych z dużych zbiorów danych <i>big data</i> i analityki; związane z zastosowaniem interfejsów IoT i rozwiązań IoS (Mikhaylov, 2017)</p>
Cyfrowy bliźniak DT (ang. <i>digital twin</i>)	<p>Cyfrowy obraz fizycznego obiektu lub procesu działający w czasie zbliżonym do rzeczywistego, który pomaga zoptymalizować wydajność firmy; DT można zdefiniować zasadniczo jako ewoluujący cyfrowy profil historycznego i obecnego zachowania fizycznego obiektu lub procesu, który pomaga zoptymalizować wyniki biznesowe (Blokdyk, 2019)</p>
Pozioma integracja systemów	<p>Działania realizowane w zakresie: zintegrowanych narzędzi E2E (ang. <i>exchange to exchange</i>), planowania i wykonania zadań w czasie rzeczywistym, przejrzystości procesu logistycznego, preskryptywnej analityki łańcucha dostaw, inteligentnego magazynowania i intralogistyki, inteligentnego zarządzania obiegiem części zamiennych (Yáñez, 2017) (Popkova i in., 2019)</p>
Pionowa integracja systemowa	<p>Wszystkie czynności związane z cyfrową kontrolą koordynacji produkcji, takie jak: zarządzanie cyklem życia produktu E2E, cyfrowe fabryki, automatyzacja maszyn, systemy zarządzania produkcją MES (ang. <i>manufacturing execution system</i>), systemy zarządzania przedsiębiorstwem ERP (ang. <i>enterprise resources planning</i>) (Yáñez, 2017) (Popkova i in., 2019)</p>

Uwzględniając opisany w poprzedniej części podział na podobszary tematyczne Przemysłu 4.0, można wskazać właściwe dla nich technologie. Są one dostosowy-

wane i wdrażane po to, by tworzyć nowe zastosowania specyficzne dla danego obszaru. Technologie te stymulują także rozwój wielu nowych dziedzin.

Tabela 4. Adaptacja technologii powiązanych z Przemysłem 4.0 w zakresie innych obszarów europejskich i światowych gospodarek

Obszar Przemysłu 4.0	Zaadaptowane technologie Przemysłu 4.0 oraz technologie innowacyjne
Agriculture 4.0 (Rolnictwo 4.0)	Hydroponika, biotworzywa, surowce z alg, rolnictwo (precyzyjne, pustynne, morskie, pionowe/miejskie społecznościowe), modyfikacja genetyczna, hodowane mięso, druk 3D, drony, analityka <i>big data</i> , IoT, nanotechnologia, AI, dzielenie się żywnością, <i>blockchain</i> , czujniki, automatyka i robotyka
Quality 4.0 (Jakość 4.0)	AI, wizja komputerowa, przetwarzanie języka naturalnego NLP (<i>natural language processing</i>), chatboty, asystenci osobiści, <i>big data</i> , <i>blockchain</i> , czujniki i siłowniki, <i>cloud computing</i> , oprogramowanie <i>open source</i> , AR/VR, rzeczywistość mieszana, streaming danych, sieci 5G, IPv6, IoT, uczenie maszynowe, <i>data science</i> , <i>blockchain</i> , roboty, produkty inteligentne, zarządzanie cyklem produktu PLM (ang. <i>product lifecycle management</i>), integracja pozioma/pionowa
Supply Chain 4.0 (Łańcuch dostaw 4.0)	Wytwarzanie przyrostowe, AR, automatyzacja, <i>big data</i> , eksploracja danych, <i>blockchain</i> , <i>cloud computing</i> , internet ludzi IoP, IoT/IIoT, robotyka, technologie semantyczne, symulacja, autonomiczne pojazdy zrobotyzowane, produkcja w chmurze CM (ang. <i>cloud manufacturing</i>), identyfikacja radiowa RFID (ang. <i>radio-frequency identification</i>), systemy lokalizacji w czasie rzeczywistym RTLS (ang. <i>real-time location systems</i>), usługi biznesowe (IoS, planowanie zasobów przedsiębiorstwa ERP, rozliczenia i marketing)
Retail 4.0 (Sprzedaż detaliczna 4.0)	<i>Big data</i> , robotyka, <i>cloud computing</i> , IoT/IIoT, wytwarzanie przyrostowe, AR (rzadziej VR), technologia omnichannel, AI
Healthcare 4.0 (Opieka zdrowotna 4.0)	Telemedycyna, czujniki i urządzenia do noszenia, AI, <i>data science</i> , IoT, zrobotyzowana automatyzacja procesów RPA, AR/VR, przetwarzanie brzegowe, inteligentne aplikacje, wytwarzanie przyrostowe, skanowanie 3D, inżynieria tkankowa, <i>big data</i> , 5G, drony, nanomedycyna, internet zachowań IoB (ang. <i>internet of behaviours</i>), bezpieczeństwo cybernetyczne, <i>blockchain</i>
Pharma 4.0 (Farmacja 4.0)	IIoT, medyczne systemy cyberfizyczne MCPS (ang. <i>medical cyber-physical systems</i>), <i>big data</i> , wytwarzanie przyrostowe, AR/VR, symulacje, zaawansowana robotyka i drony, AI, zaawansowana automatyzacja, IoT/IIoT, architektury chmurowe, <i>cloud computing</i> , analityka w czasie rzeczywistym, cyfrowe bliźniaki, roboty autonomiczne
Energy 4.0 (Energia 4.0)	Cyfrowe bliźniaki, IIoT, inteligentne miasta i inteligentna energia, <i>blockchain</i> , adaptacyjna kontrola profili zużycia energii, zarządzanie obciążeniem programów do reagowania na zapotrzebowanie i inteligentnych sieci, techniki uczenia maszynowego dla efektywności energetycznej, pomiary efektywności energetycznej w czasie rzeczywistym (w procesach przemysłowych), zaawansowane systemy komunikacji, innowacyjne strategie wykrywania w procesach przemysłowych, analiza i diagnostyka danych energetycznych, <i>big data</i> i systemy informacji energetycznej
Chemistry 4.0 (Chemia 4.0)	Uczenie maszynowe i sieci neuronowe w efektywności działania procesów (zmniejszenie energochłonności i materiałochłonności procesów), <i>big data</i> i przetwarzanie dużych zbiorów danych, VR – szkolenie pracowników i bezpieczeństwo pracowników, cyfrowe bliźniaki, IIoT, automatyzacja procesów i roboty autonomiczne, cyberbezpieczeństwo

Źródło: opracowanie własne

Wspomniany wyżej katalog nie jest kompletny. Rozwiązania Przemysłu 4.0 są także przenoszone do innych obszarów gospodarki, choć w węższym zakresie. Jako przykład można podać choćby dofinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) projekt dotyczący wykorzystania technologii cyfrowego bliźniaka w przemyśle okrętowym, służącego do bezpieczniejszej i zautomatyzowanej eksploatacji doku pływającego.

Nowoczesne technologie Przemysłu 4.0 można próbować rozdzielić bez określenia celu ich zastosowania oraz wzajemnych powiązań. Analizy ilościowe w dalszych częściach publikacji – aktywności publikacyjnej (bibliometrii), statystyk patentowych oraz baz wewnętrznych NCBR – oparto o wyszukiwania tekstowe wybranych słów kluczowych odnoszących się do technologii Przemysłu 4.0.

I.4. Cel badania i metody

- Do analiz trendów wybrano 12 technologii, które zostały wskazane jako najbardziej przyszłościowe.
- W badaniu wykorzystano analizę bibliometryczną, patentową oraz wniosków i projektów dofinansowanych przez NCBR.
- Uzupełnieniem były metody jakościowe: wywiady indywidualne oraz wywiad fokusowy.

Głównym celem badania była identyfikacja trendów technologicznych w obszarze Przemysłu 4.0. Celami szczegółowymi były: przedstawienie trendów rozwojowych i perspektyw w zakresie Przemysłu 4.0 w Polsce oraz polityki naukowo-technicznej i innowacyjnej w tym obszarze.

Słowa kluczowe do analizy wybrano w trzech krokach. Pierwszym było ustalenie zakresu pojęciowego terminu oraz dobór odpowiednich technologii. Skorzystano z 12 technologii wskazanych w publikacji „Przedsiębiorstwo 4.0 360” (PNIPH 2021) jako najbardziej per-

spektywiczne⁵. Stanowiły one podstawę wyboru słów kluczowych oraz anglojęzycznych odpowiedników ich nazw do przeprowadzenia analiz ilościowych: bibliometrycznej, patentowej oraz baz wewnętrznych NCBR. Ich lista znajduje się w tab. 5.

Tab. 5. Słowa kluczowe opisujące technologie Przemysłu 4.0

SŁOWO KLUCZOWE – WERSJA POLSKA	SŁOWO KLUCZOWE – WERSJA ANGIELSKA
Robotyka	Robot*
Rozszerzona rzeczywistość	Augmented reality
Rzeczywistość wirtualna	Virtual reality
Druk 3D	3D print*
Duże zbiory danych	Big data
Chmura obliczeniowa	Cloud computing

⁵ Zaprezentowany katalog powstał na potrzeby niniejszej publikacji, a inne podejścia (np. technologie wskazane w Data Dashboard Advanced Technologies for Industry) mogą być bardziej rozbudowane.

Blockchain	Blockchain
Uczenie maszynowe	Machine learning
Sztuczna inteligencja	Artificial intelligence
Cyfrowy bliźniak	Digital twin
Internet rzeczy	Internet of things
Przetwarzanie brzegowe	Edge computing

Znak „*” oznacza dowolny ciąg znaków występujący po wyrażeniu.

Źródło: opracowanie własne

Drugim krokiem było sprawdzenie poprawności doboru terminów w bazach Web of Science i Espacenet. Dokonano tego w wyszukiwaniu próbnym, porównując m.in. częstotliwość występowania pojęć w artykułach naukowych oraz odpowiednich klas MKP w wyszukiwaniu i analizie wybranych patentów. Określono także zakres czasowy analizy – badany okres zawężono do lat 2010–2021. Przed 2010 rokiem niektóre z pojęć pojawiały się rzadko (co wynika także z tego, że część z nich powstała po 2011 roku). Datę końcową badania determinował z kolei pełny rok, za który dostępne były ostatnie dane. Trzecim krokiem było przeprowadzenie właściwych analiz.

Wyniki obrazują, jak często pojawiają się nazwy technologii, jednocześnie nie przesądzając o wartości naukowej publikacji lub patentu. Prezentowane są one w dwóch formach: łącznie dla wszystkich słów kluczowych/technologii oraz dla każdego terminu oddzielnie. Zaprezentowane wyniki należy interpretować z ostrożnością – wynika to zarówno z braku jednoznacznie przyjętego w literaturze zakresu pojęcia Przemysłu 4.0 oraz zastosowania pojedynczych wyrażen opisujących technologie. Przykładowo Światowa Organizacja Własności Intelektualnej (WIPO) korzystała z kilkudziesięciu pojęć opisujących samą tylko sztuczną inteligencję w swojej analizie patentowej (WIPO 2019).

Analiza bibliometryczna

Do pomiaru aktywności publikacyjnej wykorzystano jedną z dwóch największych baz pełnotekstowych na świecie: Web of Science, która według dostępnych danych zawiera ok. 79 mln publikacji⁶. Baza ma wbudowaną wyszukiwarkę z narzędziami pozwalającymi agregować wyniki do danych statystycznych. W wyszukiwaniu posługiwano się pełnymi wyrazami lub ich rdzeniami, np. (3D print*), w jednym przypadku – terminu „automatyzacja” – uproszczono go do rdzenia (robot*). Wyszukiwanie prowadzono z wykorzystaniem kategorii „topic”, czyli odnoszącej się do tytułu, abstraktu, czy słów kluczowych stosowanych przez autorów publikacji oraz tzw. keyword plus (automatycznie generowanych terminów indeksujących). Przykładowo dla uczenia maszynowego w Web of Science zapytanie przyjmowało postać „TS=(“machine learning”)”. Wbudowane w obydwie bazy narzędzia analityczne pozwalały na dalszą eksplorację otrzymanych wyników przy zastosowaniu odpowiednich filtrów poddawanych analizie atrybutów. W łącznym wyszukiwaniu w przypadku Web of Science stosowano operatory Boole’a, tworząc następujące zapytanie: “TS=(“augmented reality”) OR TS=(“virtual reality”) OR TS=(“3D print”) AND TS=(“big data”) OR TS=(“cloud computing”) OR TS=(“blockchain”) OR TS=(“machine learning”) OR TS=(“artificial intelligence”) OR TS=(“digital twin”)

⁶ Druga spośród największych baz – Scopus – zawiera ponad 82 mln publikacji.

OR TS=(“internet of things”) OR TS=(“edge computing”) OR TS=(robot*)”, ograniczając jednocześnie wyniki do lat 2010–2021.

Analiza patentowa

W analizie patentowej wykorzystano bazę Espacenet Europejskiego Urzędu Patentowego. Zawiera ona około 140 mln dokumentów z całego świata. Zapytania, tak jak w Web of Science, tworzone za pomocą anglojęzycznych nazw technologii, korzystając z operatorów Boole’a. Przykładowo dla uczenia maszynowego w bazie Espacenet wyglądało to następująco: „ctxt = “machine learning” AND pd within “2010-01-01,2021-12-31””. Dane analizowano m.in. korzystając z wbudowanych w wyszukiwarce narzędzi.

Analiza wniosków i projektów dofinansowanych przez NCBR

Z kolei do identyfikacji wniosków składanych do NCBR wykorzystywano połączoną

bazę wniosków i projektów przygotowaną na potrzeby badania, zawierającą 4233 rekordy. Ze względu na strukturę i zawartość baz NCBR, wyniki obejmują lata 2015–2021. W wyszukiwaniu wykorzystano angielskie i polskie odpowiedniki terminów z tab. 5, w polskiej wersji uwzględniając deklinację.

Metody jakościowe

W badaniu wykorzystano także metody jakościowe: przeprowadzono wywiad fokusowy z udziałem ekspertów, którego wynikiem było uporządkowanie czynników mających wpływ na rozwój technologii w analizie PESTEL – politycznych (*political*), ekonomicznych (*economic*), społecznych (*social*), technologicznych (*technological*), środowiskowych (*enviromental*) i prawnych (*legal*) – oraz wywiady pogłębione z wybranymi beneficjentami NCBR, w których pozyskano tzw. informacje kontekstowe. Na niniejszą publikację składają się także zamówione ekspertyzy.

Badanie przeprowadzono w IV kwartale 2022 roku.

II. Wybrane aspekty Przemysłu 4.0

Rozwój Przemysłu 4.0 jest napędzany innowacjami – zarówno produktowymi, jak i procesowymi. Nie byłby także możliwy bez wcześniejszych prac badawczo-rozwojowych. Od strony statystycznej procesy te są jednak trudne do ujęcia. Równie istotnym czynnikiem – szczególnie dla skuteczności wdrażania technologii – są kompetencje pracowników i edukacja. Rozdział uzupełnia informacje dotyczące efektów i korzyści wynikających z wdrażania technologii Przemysłu 4.0.

II.1. Działalność B+R+I

- Tradycyjna statystyka nauki i techniki (N+T) zasadniczo nie zawiera danych dotyczących Przemysłu 4.0.
- W Polsce 32% przedsiębiorstw wyselekcjonowanych przez GUS do badania Przemysłu 4.0 posiadało w swoich strukturach dział B+R (w 2020 roku).
- Na zatrudnienie w działach B+R najsilniej oddziaływało wprowadzenie sztucznej inteligencji; najczęściej zatrudniano automatyków i programistów.
- Technologie Przemysłu 4.0 w ramach sprzężenia zwrotnego mogą także wspierać efektywność prac B+R.

Nowoczesne rozwiązania w zakresie Przemysłu 4.0 mogą przyjmować zarówno postać innowacji przyrostowych, jak i przełomowych. Tak samo mogą, ale nie muszą, być oparte o prace badawczo-rozwojowe. W definicji innowacyjności (Oslo, 2018) kładzie się bowiem nacisk na wdrożenie (lub udostępnienie) nowego lub ulepszanego produktu lub procesu, podczas gdy w definicji działalności badawczo-rozwojowej (B+R) jej celem jest pozyskiwanie nowej wiedzy i tworzenie nowych zastosowań dla istniejącej (Frascati, 2015). Innowacyjność i B+R są ze sobą powiązane, ponieważ wiedza stanowi podstawę innowacji, nie są

jednak tożsame. Obydwa pojęcia są mierzone statystycznie – niestety w przypadku Przemysłu 4.0 stosowane klasyfikacje nie pozwalają uchwycić zarówno wartości nakładów innowacyjnych oraz nakładów na badania i rozwój ponoszonych w ramach sektora, jak i liczby innowacyjnych przedsiębiorstw działających na rzecz szeroko rozumianego Przemysłu 4.0.

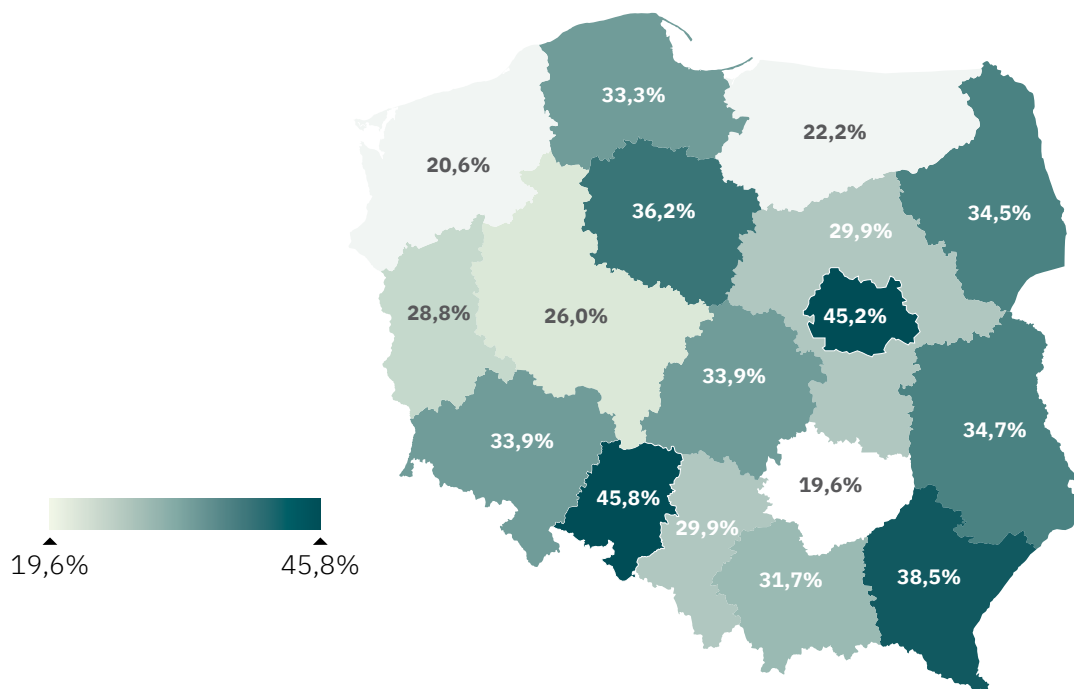
Statystyka publiczna dysponuje tutaj tylko danymi ogólnymi. Przykładowo, nakłady B+R w zakresie nauk inżynierskich i technicznych stanowią około 50% wartości nakładów na B+R w Polsce (w 2020

roku było to ponad 16 mld zł) i udział ten nieznacznie zmieniał się w poszczególnych latach (w przedziale 47–54%) (BDL, 2022). Z kolei do porównań międzynarodowych w zakresie nauki i techniki (N+T) wykorzystywany jest szereg miar pośrednich, np. związanych z wykorzystaniem *big data* w poszczególnych naukach, nakładami przedsiębiorstw na badania i rozwój (BERD, *business expenditures on research and development*) w ICT (*information and communication technologies*), statystykami patentowymi i publikacyjnymi w zakresie technologii ICT, inwestycjami typu *venture capital* w ICT itp. (OECD, 2019). Nie są to jednak dane bezpośrednio odnoszące się do Przemysłu 4.0.

Pewne światło na ten obszar w Polsce, także w dziedzinie B+R i innowacyjności, rzuca eksperymentalne, pilotażowe badanie w zakresie Przemysłu 4.0 przeprowadzone przez Główny Urząd Statystyczny w 2020 roku. Badanie to zrealizowano na próbie

ponad 5,5 tys. przedsiębiorstw wyselekcjonowanych ze względu na swoje specyfiki i wpisujących się w Przemysł 4.0. Z badania wiemy, że 32% z nich dysponowało w swojej strukturze działem B+R, a 49% działem projektowo-konstrukcyjnym. Dane te dostępne są także na poziomie regionalnym. Największy odsetek przedsiębiorstw posiadających w swojej strukturze dział B+R zidentyfikowano w województwie opolskim (45,8%) i wydzielonym statystycznie regionie stołecznym (45,2%). W dwóch latach poprzedzających badanie 28% badanych podmiotów odnotowało wzrost poziomu nakładów związanych z wdrożeniem, utrzymaniem lub rozbudową technologii Przemysłu 4.0. Najczęściej taki wzrost deklarowały przedsiębiorstwa duże – na poziomie 43%. Niestety GUS nie podaje wysokości ani struktury tych nakładów. Blisko połowa badanych (47%) planowała dalsze inwestycje w rozbudowę i rozwój technologii, a 29% – inwestycje w rozwój kompetencji pracowników (GUS, 2020).

Rysunek 3. Przedsiębiorstwa Przemysłu 4.0 posiadające dział badawczo-rozwojowy



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych (GUS 2020)

Specyfiką Przemysłu 4.0 jest to, że wchodzące w jego zakres technologie będą także rewolucjonizowały sam proces badawczy. Włączenie działań B+R do cyklu produkcji i zbieranie danych w czasie rzeczywistym powinno poprawiać efektywność procesów badawczych i minimalizować ryzyko badawcze. Dokonać się to może m.in. poprzez bardziej efektywne symulacje i modelowanie. Prace B+R powinna przyspieszyć możliwość przygotowywania nowych prototypów w technologiach druku 3D (PWC, 2016). Także wykorzystanie sztucznej inteligencji może być wzmocnieniem procesu badawczego. Analogicznie, wykorzystywanie cyfrowych bliźniaków powinno przyspieszyć i poprawić efektywność procesu projektowania, symulacji oraz wdrażania. Warto też zaznaczyć, że wprowadzanie technologii Przemysłu 4.0 ma raczej pozytywny wpływ na zatrudnienie w B+R. W Polsce w 35% przedsiębiorstw, w których zaszły zmiany kadrowe z wykorzystaniem AI, nastąpił wzrost zatrudnienia w działach B+R – w największym stopniu zatrudniano automatyków i programistów. W mniejszym stopniu ten pozytywny wpływ miał miejsce w przypadku wprowadzania chmury obliczeniowej (5% przedsiębiorstw), internetu rzeczy (13% przedsiębiorstw) i *big data* (32% przedsiębiorstw)⁷ (GUS, 2020).

Wpływ Przemysłu 4.0 na innowacyjność gospodarki jest trudny do wychwycenia i zmierzenia. Istnieją tylko nieliczne studia empiryczne, uwzględniające dane statystyczne, które pokazują wpływ na innowacyjność przedsiębiorstw. Jednym z nich było badanie przeprowadzone na reprezentatywnej próbie przedsiębiorstw niemieckich (Sarbu, 2020), które pokazało wspomaganie rozwoju innowacji produktowych poprzez zastosowanie Przemysłu 4.0. Co ciekawe, badanie ujawniło brak wpływu na udział produktów innowacyjnych w sprzedaży przemysłu wytwórczego, a pozytywny i ekonomicznie zna-

czący wpływ w sektorze usług. Najprawdopodobniej wynika to z faktu, że zastosowanie w tym sektorze technologii pochodzących z sektora przemysłu jest dużą zmianą i prowadzi do powstawania nowych usług.

W Polsce rozwój technologii i ich wdrożenia wspierane są w ramach systemu wsparcia B+R+I. Głównymi instytucjami wspierającymi działalność podmiotów w tym zakresie są: Narodowe Centrum Nauki (badania podstawowe), Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (przede wszystkim badania i rozwój), Polski Fundusz Rozwoju (wsparcie kapitałowe), Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (przede wszystkim prace rozwojowe, wsparcie inwestycyjne, usługi doradcze). Szczegółowe informacje na temat istniejących programów wsparcia zostały opisane w części IV.3 Motywacje do realizacji projektów B+R w obszarze technologii Przemysłu 4.0 są różne, ale z przeprowadzonych wywiadów z beneficjentami programów NCBR wynika, że najczęściej warunkują je poprzednie doświadczenia, dotychczasowe kontakty biznesowe, charakter jednostki czy działalność w silnie konkurencyjnych obszarach. Różnice między typami jednostek prowadzących badania implikują różne potrzeby. Przykładowo, problemem jednostki naukowej realizującej projekt w tradycyjnej, nisko naukochłonnej branży, była współpraca z zagraniczną jednostką przemysłową, która miała wdrażać wyniki. Z kolei oddział badawczo-rozwojowy dużej korporacji międzynarodowej wskazywał na specyfikę wdrażanego w skali globalnej rozwiązania, które nie było samodzielny produktem, a kluczowym usprawnieniem warunkującym funkcjonalność oferowanych usług telekomunikacyjnych. Jednocześnie podnoszony był wątek wewnętrznej rywalizacji z innymi oddziałami B+R korporacji (zlokalizowanymi w innych krajach) o przyciąganie projektów. Natomiast dwa polskie przedsiębiorstwa działające w obszarze nowych technologii (fotoniki i automatyki) potrzebowały

⁷ W przypadku *big data* w 20% przedsiębiorstw wpłynęło to na redukcję zatrudnienia w B+R, analogicznie dla internetu rzeczy było to 4,4% przedsiębiorstw.

prac B+R do utrzymania międzynarodowej konkurencyjności swoich rozwiązań, co wynikało przede wszystkim z koncentracji działalności na rynkach zagranicznych.

W kontekście polityk publicznych (część IV.1) należy pamiętać o znaczeniu prac B+R i innowacyjności w kontekście ogól-

nego rozwoju gospodarki, uwzględniając także specyfikę rodzimych podmiotów. Konsekwencją braku rozwoju technologii w Polsce lub dominacji zagranicznych ośrodków technologicznych może być uzależnienie od technologii z zewnątrz i brak konkurencyjności w globalnym łańcuchu dostaw.

II.2. Kompetencje i kształcenie

- Pracownicy Przemysłu 4.0 powinni mieć szerokie kompetencje zarówno techniczne, jak i miękkie.
- W Polsce od kilku lat otwierane są kierunki studiów (przede wszystkim podyplomowych), związane z kształceniem na potrzeby Przemysłu 4.0.

Czas tzw. czwartej rewolucji przemysłowej charakteryzuje się zanikaniem, wskutek postępującej robotyzacji, bariery między kompetencjami ludzi i maszyn (Schwab, 2016). Na rynku pracy konsekwentnie wzrasta znaczenie kombinacji kompetencji miękkich i cyfrowych (Jelonek i in., 2022). Z jednej strony pozwalają one pracownikom skutecznie obsługiwać i nadzorować pracę maszyn, z drugiej – przyspieszają proces automatyzacji i cyfryzacji. Intensywny rozwój technologii, takich jak np. web 2.0, sztuczna inteligencja, *big data* czy rozwiązania chmurowe, wpływa na poczucie destabilizacji pracownika, co sprawia, że coraz ważniejsza jest elastyczność, gotowość do nabywania nowych kompetencji i szybka adaptacja do zmian. Innymi słowy, pracownik musi nadążać za dynamicznym rozwojem technologii. Czasami, jak w trakcie pandemii COVID-19, tryb pracy zdalnej siłą rzeczy przekłada się na poprawę kompetencji z obszaru IT, co potwierdzają wyniki raportu *Praca zdalna 2.0* (Pracodawcy RP, 2021).

Przemysł 4.0 wymaga od przedsiębiorstwa odejścia od tradycyjnych metod rozwoju i staje się normą w kontekście utrzymania konkurencyjności na rynku. Przedsiębiorstwa przodujące w transformacji dostarczają produkty i usługi o wyższej jakości i w konkurencyjnej cenie, przyciągają rynki

i klientów oraz wysoko wykwalifikowaną kadrę, przez co budują swoją przewagę rynkową (Expo, 2018). Za innowacjami technologicznymi idą zmiany sposobów funkcjonowania przedsiębiorstw – procesów i modeli biznesowych (Li i in., 2015), powstają nowe typy przedsiębiorstw, czy w końcu nowe stanowiska pracy.

Dynamika zmian technologicznych w znaczący sposób utrudnia jednoznaczne określenie standardu kompetencji oczekiwanych przez sektor gospodarczy od absolwentów uczelni. Również dlatego, że zmiany technologiczne wpływają na kształtowanie luk kompetencyjnych. Okazuje się bowiem, że kompetencje o wzrastającym znaczeniu jednocześnie bardzo często stają się tymi brakującymi (Jelonek i in., 2022). W grupie kompetencji pożądanych z perspektywy pracodawców wskazuje się m.in. na:

- myślenie analityczne i innowacyjność, aktywne uczenie się i strategię uczenia się, kreatywność, oryginalność i inicjatywę, projektowanie i programowanie technologiczne, krytyczne myślenie i analizę, rozwiązywanie złożonych problemów, przywództwo i wpływ społeczny, inteligencję emocjonalną, rozumowanie i rozwiązywanie problemów (WEF, 2018);

- umiejętności technologiczne (zarówno kodowanie, jak i szczególnie interakcja z technologią), złożone umiejętności poznawcze, wysoko rozwinięte umiejętności społeczne i emocjonalne (np. podejmowanie inicjatywy, przywództwo i przedsiębiorczość), intencjonalne uczenie się (McKinsey, 2020a; McKinsey, 2020b);
- osąd i podejmowanie decyzji, płynność pomysłów, aktywne uczenie się, strategie uczenia się, oryginalność, rozumowanie dedukcyjne, rozwiązywanie złożonych problemów, monitorowanie i ewaluację (Bakshi, Downing, Osborne i Schneider, 2017).

petencji uniwersalnych i społecznych – odróżniających człowieka od maszyn i sztucznej inteligencji – z umiejętnościami cyfrowymi (DELab UW, 2019b). Pracownicy Przemysłu 4.0 powinni dysponować kompetencjami poznawczymi, społecznymi i cyfrowymi, umiejętnościami przyznawania się do błędów, diagnozowania ich i w konsekwencji podejmowania decyzji. W ramach zestawienia kluczowych kompetencji Przemysłu 4.0/5.0 zaproponowano wyniki analizy i selekcji kompetencji przyszłości na bazie opracowania ekspertów Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości. W tab. 6 zaprezentowano listę kompetencji pracownika przystosowanego do warunków pracy w Przemysle 4.0/5.0 (FPPP, 2021).

Wiele analiz wskazuje, że zestaw kompetencji przyszłości to kombinacja kom-

Tabela 6. Zestawienie kompetencji pracownika Przemysłu 4.0/5.0 opracowane przez Obserwatorium Kompetencji Przyszłości FPPP

Grupa kompetencji	Kompetencja/oczekiwany zakres kompetencji
Kompetencje poznawcze (kognitywne)	Wnioskowanie (umiejętność znajdowania głębszego znaczenia i sensu zjawisk, dostrzeżania i nadawania znaczeń, które nie są widoczne na pierwszy rzut oka)
	Nieszablonowe myślenie i kreatywna adaptacja rozwiązań (umiejętność tworzenia rozwiązań innych niż już istniejące czy oparte na znanych zasadach i schematach, umiejętność szybkiego reagowania na zmiany)
	Analiza danych związana z użyciem technologii (umiejętność przetwarzania dużych zbiorów danych w celu uzyskania informacji i wiedzy pozwalającej na argumentację opartą na liczbach; umiejętność rozumowania i wnioskowania opartego na danych)
	Interdyscyplinarność (biegłość w rozumieniu i łączeniu pojęć oraz koncepcji pochodzących z różnych dziedzin)
	Myślenie projektowe (umiejętność dostosowywania sposobu postrzegania i myślenia do wykonywanych zadań; umiejętność przełożenia skomplikowanych zadań na szereg prostych, wzajemnie powiązanych działań, których realizacja prowadzi do pożądanych efektów)
	Umiejętność analizy i oceny ryzyka (np. ryzyka środowiskowego, finansowego, bezpieczeństwa pracy itp.)
Odpowiedzialne podejmowanie decyzji (wiedza w zakresie etycznych i prawnych aspektów działalności biznesowej, umiejętność identyfikowania problemów etycznych w działalności biznesowej, zdolność do krytycznej analizy i oceny działań biznesowych z uwzględnieniem takich aspektów, jak: szacunek, odpowiedzialność, uczciwość, troska i dobro społeczne)	

Kompetencje techniczne oraz w zakresie postępowania się informacją i wiedzą, a także zarządzania nimi	Biegłość w obsłudze nowych mediów (umiejętność tworzenia i obsługi nowych form przekazu, np. filmów internetowych, blogów, prezentacji, portali; zdolność do krytycznej oceny treści prezentowanych w mediach, w tym społecznościowych, umiejętność tworzenia wizualnie stymulujących prezentacji, które angażują i przekonują odbiorców)
	Zarządzanie przeciążeniem informacyjnym (umiejętność filtrowania istotnych informacji, umiejętność pracy w tzw. szumie informacyjnym, zdolność do maksymalizowania zdolności poznawczych przy pomocy dostępnych narzędzi i technik)
	Zdolność integracji stanowisk zrobotyzowanych, zdolność pracy na linii człowiek-maszyna (współpraca z maszynami, robotyka – robotyka kooperacyjna)
	Programowanie (tworzenie algorytmów i programów urządzeń przemysłowych, komputerów i urządzeń mobilnych oraz zarządzanie bazami danych z wykorzystaniem różnorodnych języków programowania)
Kompetencje społeczne	Uczenie się przez całe życie (podnoszenie kwalifikacji i dokształcanie się po zakończeniu edukacji formalnej, umiejętność zwiększania własnych zasobów kompetencyjnych, a w konsekwencji własnej atrakcyjności i wartości na rynku pracy)
	Inteligencja społeczna (umiejętność budowania głębokich, opartych na zaufaniu relacji z innymi ludźmi, umiejętność rozumienia ich potrzeb, empatia, wyczuwanie i stymulowanie pożądanego interakcji interpersonalnych i społecznych)
	Praca w zespole wielokulturowym (umiejętność działania w kulturowo zróżnicowanym środowisku oparta m.in. na znajomości języków obcych, umiejętność adaptacji do zmieniających się warunków, umiejętność wyczuwania zróżnicowanego kontekstu kulturowego i reagowania na niego)
	Efektywna praca w zespołach wirtualnych (umiejętność budowania zaangażowania, bycia liderem wirtualnego zespołu, motywowanie przestrzennie rozproszonych pracowników, umiejętność efektywnej pracy z wykorzystaniem komunikatorów, wirtualnych platform itp.)
	Przedsiębiorczość społeczna (umiejętność projektowania przedsięwzięć społecznych, umiejętność dostrzegania problemów społecznych i proponowania nowatorskich rozwiązań ukierunkowanych na ich rozwiązywanie, łączenie działalności biznesowej z działalnością pożytku publicznego)

Źródło: FPPP 2021

Badanie Smart Industry Polska z 2019 roku wykazało, że w polskich firmach wzrasta świadomość koncepcji Przemysłu 4.0, co za tym idzie – liczba adaptacji powiązanych rozwiązań w sektorze MŚP. Najczęstszą barierą hamującą transformację technologiczną i rozwój innowacji w przedsiębiorstwach są problemy kadrowe. Wyniki badania wykazały potrzebę zatrudnienia wysoko wykwalifikowanych specjalistów. Kompetencje kadry zdolnej do pracy w realiach Przemysłu 4.0. wymagają interdyscyplinarności, w tym łączenia wiedzy inżynierskiej (automatyka, mechatronika, robotyka, programowanie) z umiejętnościami miękkimi, takimi jak zarządzanie procesem i zasobami ludzkimi, dobra komunikacja,

elastyczność i gotowość do zmian. System edukacyjny jest zdaniem autorów badania niedostosowany do wymogów przemysłu innowacyjnego (MPiIT/Siemens, 2019).

Jednocześnie niektóre uczelnie próbują podjąć to wyzwanie i uruchamiają kierunki studiów związane z kształceniem na potrzeby Przemysłu 4.0. Jako przykład można wskazać studia dualne Inżynieria Produkcji w Przemysle 4.0, prowadzone na Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie. Oferowane są także studia podyplomowe w tym zakresie (Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska) i podyplomowe studia menedżerskie (Politechnika Śląska, WSB-NLU).

II.3. Efekty i korzyści wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0

- Korzyści związane z wykorzystaniem technologii Przemysłu 4.0 oddziałują szeroko – zarówno na poziomie całej gospodarki, jak i podmiotów je wdrażających.

Rewolucja technologiczna, zgodnie z definicją przedstawioną w części I.2, oddziałuje bardzo szeroko i przekłada się na szereg korzyści związanych z wdrażaniem nowoczesnych rozwiązań technologicznych. Mogą się one objawiać na różnych poziomach (mikro, makro i mezo). Korzyści może odnosić zarówno cała gospodarka (np. zwiększenie konkurencyjności krajowego przemysłu, poprawa struktury handlu zagranicznego, wzrost innowacyjności), społeczeństwo (np. polepszenie warunków pracy), jak i środowisko (np. bardziej efektywne wykorzystanie zasobów). Na poziomie mikro

dla przedsiębiorstwa wdrożenie rozwiązań Przemysłu 4.0 oznacza szereg korzyści, takich jak optymalizacja kosztów i większa efektywność. Z kolei dla przeciętnego obywatela – dostęp do nowych produktów i usług oraz ogólny wzrost dobrobytu i poziomu życia, a także ułatwienia w codziennym funkcjonowaniu.

W tab. 7 przedstawiono wybrane zalety i korzyści przede wszystkim z perspektywy mikro, czyli przedsiębiorstwa, w podziale na siedem obszarów biznesowych i życia społecznego.

Tabela 7. Zestawienie ogólnych korzyści wynikających z wdrożenia Przemysłu 4.0/5.0

Obszar biznesowy	Zalety/korzyści wynikające z wdrożenia Przemysłu 4.0/5.0
<p>Ekonomia produkcji i model biznesowy</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nowe modele biznesowe i ekonomiczne ■ Zwiększona produktywność, wydajność organizacyjna i odporność na zakłócenia ■ Przyciąganie talentów dzięki implementacji nowych technologii i rozwiązań biznesowych ■ Reakcja ad hoc na zmiany na rynku ■ Redukcja kosztów, wzrost przychodów oraz redukcja nadprodukcji ■ Zmniejszenie zużycia energii, zasobów oraz infrastruktury przez nowe modele biznesowe ■ Zmniejszenie nakładów na transport i podróże ■ Bardziej responsywne łańcuchy wartości, zwiększające konkurencyjność poprzez eliminację barier między informacją oraz strukturami fizycznymi ■ Konwergencja świata fizycznego i wirtualnego – wpływ na łączenie różnych sektorów gospodarki ■ Przemysł 4.0/ Przemysł 5.0 – główna siła napędowa innowacji, która odgrywa kluczową rolę w zrównoważonej produktywności oraz konkurencyjności ■ Generowanie statystyk i decyzji w sposób zautomatyzowany, dzięki czemu odpowiedzi i decyzje są trafniejsze i szybsze ■ Zrozumienie idei sieciowania oraz wzrost dojrzałości cyfrowej ■ Zrozumienie i wdrożenie zasad kooperacji i kooperacji
<p>Ekologia/ gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Redukcja odpadów (energia, zasoby, materiały itp.), także w fazie rozwoju produktu ■ Zrównoważona produkcja/efektywność zasobów (materiały, energia, ludzie) ■ Odzysk energii w zakresie całego systemu przemysłowego, produktu i świadomości odbiorcy ■ Poszanowanie oraz oszczędność zasobów naturalnych ■ Przyczynianie się do wymiaru środowiskowego istniejących zakładów produkcyjnych ■ Zrozumienie i wdrożenie zasad zrównoważonego rozwoju ■ Wpływ na cykl życia produktu oraz kształtowanie podejść proekologicznych

Procesy (technologia, logistyka, planowanie produkcji)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nowe technologie (innovacyjne, inkluzywne, energooszczędne itp.) ■ Zaawansowane planowanie i kontrola z odpowiednimi danymi w czasie rzeczywistym ■ Szybka reakcja na zmiany popytu, stanu magazynowego, awarie oraz trudno przewidywalne stany ■ Lepsza odporność, elastyczność oraz dopasowanie do zmian i wymagań rynku ■ Wyższa jakość oraz personalizacja produktów i usług ■ Zdecentralizowana i zdigitalizowana produkcja, w której elementy produkcyjne są w stanie samodzielnie sterować zasobami ■ Modułowe i konfigurowalne produkty, promujące ideę masowej personalizacji w celu spełnienia określonych wymagań klientów ■ Zmiany w zakresie oszczędności kosztów logistyki, transportu, magazynowania, zarządzania zapasami i działaniami administracyjnymi ■ Zmiany w usprawnieniach dostaw, czasach cykli produkcyjnych; eliminacja przestoju ■ Redukcja opóźnionych zleceń produkcyjnych oraz logistycznych ■ Redukcja zapasów przy zachowaniu (lub usprawnieniu) ciągłości i jakości produkcji ■ Zmiany w liczbie zagubionych i/lub uszkodzonych towarów w wyniku niedbałości, kradzieży i wypadków, wybraków ■ Minimalizacja częstotliwości awarii oraz napraw i serwisu maszyn i urządzeń ■ Zmiany we wskaźnikach efektywnego wykorzystania maszyn ■ Zwiększenie dokładności prognoz (stanu eksploatacyjnego, maszyn, niepewności popytu itp.) ■ Zmiany jakości logistyki w zakresie transportu, inwentaryzacji i magazynowania ■ Elastyczność planowania zasobów, logistyki oraz optymalizacja transportowanych wolumenów ■ Planowanie, sterowanie oraz podejmowanie decyzji na bazie danych ■ Wzrost sprawności operacyjnej z wykorzystaniem lewarowania danych w celu usprawnienia procesów
Akceptacja zmian	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zwiększenie przewagi konkurencyjnej poprzez udane wdrożenie cyfrowego modelu biznesowego i stworzenie technologii ■ Bezpieczniejsze warunki pracy ■ Nowe miejsca pracy oferujące jednocześnie równowagę pomiędzy życiem zawodowym i prywatnym
Prawo i regulacje	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nowe przepisy prawne oraz ułatwienia w działalności ■ Nowe metody finansowania ■ Nowe formy i obszary działalności
Wiedza i personel	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ciągłe oraz efektywne przekształcanie miejsc pracy i wymaganych umiejętności (eliminacja tzw. bezrobocia technologicznego) ■ Redefiniowanie obecnych miejsc pracy i dostosowanie umiejętności do nowych zadań ■ Nowe kompetencje warunkujące możliwości zdobycia wymaganych umiejętności poprzez wysokiej jakości szkolenia ■ Znacznie większy udział w wykonywaniu złożonych i pośrednich zadań, takich jak współpraca z maszynami, w codziennej pracy ■ Rozwiązywanie nieustrukturyzowanych i angażujących problemów oraz praca z nowymi informacjami ■ Możliwość wzmacniania zdolności fizycznych (siły lub motoryki) oraz zmniejszania obciążenia związanego z pracą fizyczną za pomocą egzoszkieletów, urządzeń pozycjonujących, robotów lub automatyzacji monottonnych zadań ■ Obniżenie wymaganego wysiłku pamięci krótkotrwałej poprzez wizualizację (informacje szczegółowe i na żądanie – użytkownicy uzyskują istotne informacje wtedy, gdy są im potrzebne i w formie umożliwiającej ich zrozumienie) ■ Zmniejszenie liczby błędów popełnianych na hali produkcyjnej poprzez obserwację procesu w czasie rzeczywistym i instrukcje pracy oparte na umiejętnościach konkretnego pracownika
Uwarunkowania geograficzne i kulturowe	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nowy poziom satysfakcji klienta ■ Wizerunek innowacyjnej firmy ■ Nienaruszanie tematów nieakceptowalnych w danej kulturze

Opisane wcześniej korzyści można także ująć w odniesieniu do podziału na wskazane wcześniej podobszary Przemysłu 4.0. Wskazują one na elementy rozwojowe innowacyjnych technologii o najwyższym potencjale wdrożenia.

Tabela 8. Zestawienie korzyści w poszczególnych obszarach rozwiniętych przez Przemysł 4.0/5.0

Obszar Przemysłu 4.0	Zalety/ korzyści
Agriculture 4.0 (Rolnictwo 4.0)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Korzyści ekonomiczne – optymalizacja zasobów (zużywanie mniejszej ilości wody i nawozów poprzez prognozowanie za pomocą SI/AI) ■ Korzyści środowiskowe – podejście zgodne ze zrównoważonym rozwojem (np. zmniejszenie zużycia paliwa i środków chemicznych, zapobieganie zanieczyszczeniu zasobów wodnych, poprawa wpływu łańcucha żywnościowego na środowisko, mniejszy ślad węglowy) ■ Korzyści społeczne – wyższa jakość produktów, dostęp do szczegółowych informacji o spożywanym produkcie, polepszenie warunków pracy poprzez zastosowanie wsparcia za pomocą cyfrowych i innowacyjnych narzędzi
Quality 4.0 (Jakość 4.0)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zmniejszenie liczby awarii sprzętu ■ Poprawa bezpieczeństwa ■ Redukcja kosztów pracy ■ Redukcja czasu ustawiania maszyn i urządzeń ■ Zmniejszenie liczby powtarzających się błędów ■ Poprawa produktywności ■ Śledzenie wydajności w czasie rzeczywistym ■ Proaktywne działania w celu eliminacji niekorzystnych stanów ■ Wzrost udziału w rynku oraz poprawa satysfakcji klienta
Supply Chain 4.0 (Łańcuch dostaw 4.0)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ulepszone zarządzanie łańcuchem dostaw ■ Przejrzystość procesu (ang. end-to-end transparency) ■ Inteligentna logistyka oraz podejmowanie decyzji ■ Ulepszona analityka danych oraz wnioskowanie ■ Zwiększony zysk finansowy oraz wydajność ■ Zwiększenie wskaźników odporności, sprawności, elastyczności, dokładności, wydajności, jakości
Retail 4.0 (Sprzedaż detaliczna 4.0)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Poprawa wyników sprzedaży, zwiększenie widoczności oraz umocnienie wizerunku marki ■ Proaktywne podejmowanie decyzji ■ Lepsze zaangażowanie zespołów i partnerów ■ Modelowanie sprzedaży i zasięgu rynkowego ■ Planowanie zadań, śledzenie oraz zarządzanie zadaniami personelu, zarządzanie zgodnością w oparciu o lokalizację ■ W pełni konfigurowalne inteligentne formularze ■ Dynamiczne dashboardy do analizy danych (sprzedaż, ceny, dystrybutorzy itp.) ■ Dynamiczne powiadomienia ■ Zarządzanie zadaniami
Healthcare 4.0 (Opieka zdrowotna 4.0)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Łatwość identyfikacji profilu zdrowotnego i opieki nad pacjentem (usprawnienie gromadzenia danych o stanie zdrowia oraz tworzenia historii choroby) ■ Możliwość określania grup ryzyka, wykonywania analiz i zgłaszania dodatkowych potrzeb pacjentów ■ Opracowanie indywidualnych planów zdrowotnych zapewniających specjalistyczne usługi doradcze skoncentrowane na zdrowych nawykach (m.in. odżywianie, ćwiczenia fizyczne i kontrola medyczna) ■ Polepszenie warunków zdrowotnych przy jednoczesnym zmniejszeniu żądań usług medycznych (monitorowanie i propozycje w ramach bieżącego stanu zdrowia)

- Możliwość określenia głównych przyczyn roszczeń w planie zdrowotnym i opracowania strategii ukierunkowanej na ich redukcję (zbieranie danych za pomocą inteligentnych rozwiązań technologicznych)
- Analiza danych pacjentów – tworzenie i przechowywanie informacji o wszystkich pacjentach, z przestrzeganiem legislacyjnej etyki ochrony danych i tajemnicy lekarskiej
- Medycyna prewencyjna – możliwość zaoferowania pacjentom ścisłej obserwacji, co poprawia indywidualne możliwości leczenia (np. kontrola stresu, otyłości, zdrowe nawyki, leczenie chorób przewlekłych itp.)
- Tworzenie personalizowanego profilu przypadku klinicznego każdego pacjenta

Pharma 4.0 (Farmacja 4.0)

- **Korzyści dla pracowników:**
 - zmniejszenie monotonii sprzyjające innowacyjnemu myśleniu,
 - lepsze warunki pracy i zwiększona wydajność,
 - eliminacja dokumentacji papierowej w celu dostarczenia pracy o wysokiej wartości,
 - zmniejszenie poziomu stresu dzięki monitorowaniu procesu produkcyjnego,
 - rejestrowanie danych dotyczących wydajności pracowników i zastosowanie ich do lepszego zarządzania ludźmi.
- **Zarządzanie złożonością:**
 - bezpieczna rejestracja danych w celu rozwiązywania problemów i przyszłego użycia,
 - osiągnięcie wyższego poziomu zastosowania GMP (ang. *good manufacturing practice*) poprzez podejmowanie decyzji sterowanych przez SI/AI,
 - zastosowanie analityki predykcyjnej i funkcji ML (ang. *machine learning*) do inteligentniejszej konserwacji i zmniejszenia wąskich gardeł.
- **Holistyczna strategia kontroli:**
 - stałe monitorowanie procesów produkcyjnych pod kątem ryzyka utraty jakości i zarządzania wiedzą,
 - zmniejszanie ryzyka, co skutkuje zwiększeniem poziomów jakości oraz skróceniem czasu wprowadzenia produktu na rynek,
 - rozwiązanie problemów łańcucha dostaw (przetłamanie silosów i wymiana informacji).
- **Optymalizacja produkcji:**
 - maksymalizacja wydajności poprzez Pharma Lean Six Sigma,
 - usprawnienie cyfrowych przepływów pracy umożliwiające wydajne pętle produkcyjne, lepszą komunikację i szybsze podejmowanie decyzji,
 - obniżenie kosztów produkcji i terminowość realizacji zamówień,
 - minimalne odchylenia od receptur leków i innych zobowiązań umownych.

Energy 4.0 (Energia 4.0)

- Wdrażanie osiągnięć technologicznych w celu zrównoważenia i efektywności sektora
- Zapewnienie elastyczności w procesach operacyjnych
- Osiągnięcie stopnia personalizacji w usługach do celów zwiększenia pewności i zaspokojenia wymagań i potrzeb klientów
- Pozyskiwanie dokładnych informacji w czasie rzeczywistym oraz efektywne wykorzystanie zasobów i zwiększenie wydajności
- Monitorowanie całego łańcucha: wytwarzanie, przesyłanie, dystrybucja i komercjalizacja
- Automatyzacja procesów i zwiększanie efektywności operacyjnej firm
- Dostosowanie podaży i popytu w czasie rzeczywistym
- Ograniczenie nieefektywnych operacji
- Usprawnienie procesu przewidywania awarii i zdarzeń w celu wydłużenia żywotności urządzeń i poprawy zarządzania zapasami
- Generowanie przydatnych informacji do analizy i optymalizacji operacyjnej
- Podejmowanie kompleksowych decyzji (łączność pomiędzy użytkownikami i urządzeniami)

III. Trendy technologiczne

Trzeci rozdział zawiera wyniki analiz pokazujących ogólne kierunki rozwoju technologicznego w Przemysle 4.0 z kilku perspektyw: statystyk publikacji naukowych, patentowych, wniosków składanych do NCBR oraz realizowanych projektów dofinansowanych przez Centrum. Tło analizy stanowią ogólnie zarysowane megatrendy. Każdy z poniższych podrozdziałów powinien być traktowany oddzielnie, dotyczą one bowiem odrębnych sfer aktywności w ramach szeroko rozumianej działalności B+R+I i nie ma między nimi bezpośredniej zależności.

III.1. Megatrendy

- W zestawieniach duża część megatrendów dotyczy zjawisk społecznych lub gospodarczych, a tylko niektóre – technologicznych.
- Technologie Przemysłu 4.0 częściowo wpisują się w zidentyfikowane megatrendy – w stopniu zależnym od poziomu szczegółowości ich opisu.

Analizę trendów technologicznych w zakresie Przemysłu 4.0 warto umiejscowić w kontekście szerszych i trwałych zmian gospodarczych, społecznych, politycznych, środowiskowych i technologicznych, które określa się tzw. megatrendami. Opisują one zjawiska o zasięgu globalnym, cywilizacyjnym, które współwystępują i jednocześnie oddziałują na siebie nawzajem. W procesie analizowania megatrendów

wykorzystywane są zróżnicowane podejścia, np. etapowa analiza przekształcania wiedzy ogólnej na konkretne informacje, czy tabelaryczne metody porządkujące wiedzę. Stąd też poszczególne listy megatrendów różnią się między sobą. Poniżej w tab. 9 przedstawiono kilka takich zestawień, megatrendy, które są bezpośrednio związane z Przemysłem 4.0 zostały zaznaczone na niebiesko.

Tabela 9. Wybrane megatrendy, w tym dotyczące bezpośrednio technologii Przemysłu 4.0 (wyróżnione na niebiesko).

Gajewski, Paprocki, Pieregud (2015)	Schwab (2016)	Polskie Towarzystwo Studiów nad Przyszłością (2021)	Hatalska (2022)
Inteligentne miasta (<i>smart cities</i>)	Pojazdy autonomiczne/samojezdne	Wzrost populacji świata	Świat lustrzany (np. smart życie, zrobotyzowane życie)
Duże zbiory danych (<i>big data</i>)	Druk 3D	Nasilające się migracje ludności	Biologia technocentryczna
Łączność i konwergencja (<i>connectivity & convergence, connected living</i>)	Zaawansowana robotyzacja	Starzenie się społeczeństw krajów rozwiniętych	Deglobalizacja
Sztuczna inteligencja, automatyzacja i robotyka (<i>artificial intelligence, automation, robotics</i>)	Nowe materiały	Rosnąca polaryzacja społeczna	Transformacja klimatyczna
Urbanizacja (<i>urbanization</i>)	Internet rzeczy	Rosnąca klasa średnia	Zmiany demograficzne
Rosnąca liczba ludności na świecie (<i>global population growth</i>)	Czujniki	Wzrost urbanizacji	Kryzysy zdrowotne
Starzejące się społeczeństwo (<i>ageing population</i>)	Zdalny monitoring	Rosnący popyt na energię	Utrata spójności społecznej
Zrównoważony rozwój (<i>sustainability</i>)	Blockchain	Digitalizacja i automatyzacja pracy	
Wyczerpywanie się zasobów naturalnych (<i>resource scarcity</i>)	Gospodarka współdzielenia	Zmiany klimatu	
Odnawialne źródła energii (<i>renewable energy</i>)	Sekwencjonowanie genetyczne	Zanieczyszczenie środowiska i utrata bioróżnorodności	
Globalizacja (<i>globalization</i>)	Biologia syntetyczna	Malejące bezpieczeństwo żywnościowe	
Ekonomia dzielenia się (<i>sharing economy</i>)	Inżynieria genetyczna	Rosnące napięcia międzynarodowe	
		Kryzys demokracji i nowe modele rządzenia	

Źródło: Opracowanie własne

Zaznaczone na niebiesko megatrendy w dużej mierze dotyczą postępu związanego z rozwojem techniki i technologii, a także (częściowo) związane są z wpływem na społeczeństwo.

Natomiast część z nich można zaliczyć do czynników, które oddziałują na rozwój Przemysłu 4.0, ale raczej w sposób pośredni (patrz: analiza PESTEL w podsumowaniu).

III.2. Trendy w publikacjach

- Liczba publikacji z zakresu Przemysłu 4.0 dynamicznie rośnie. W 2021 roku ukazało się siedmiokrotnie więcej publikacji z tego obszaru niż na początku poprzedniej dekady.
- Stany Zjednoczone przodują na świecie, jeśli chodzi o liczbę publikacji; na drugim miejscu są Chiny.
- Spośród badanych technologii/słów kluczowych najsilniejszą tendencję wzrostową odnotowały w ostatnich latach powiązane ze sobą: uczenie maszynowe oraz sztuczna inteligencja.
- Polska pod względem liczby publikacji zajmuje 24. miejsce na świecie i 7. w UE.

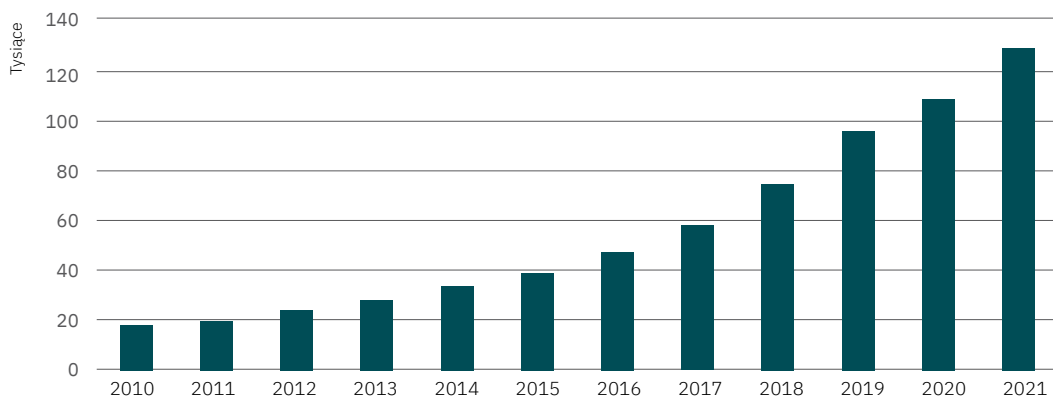
Trendy naukowe w zakresie badań nad technologiami Przemysłu 4.0 powinny znajdować swoje odzwierciedlenie w liczbie publikacji naukowych (zarówno artykułów, materiałów konferencyjnych jak i rozdziałów w książkach) poświęconych danej tematyce. Wskaźniki liczbowe pośrednio charakteryzują stan prac naukowych w danym obszarze. Pozwala to na uzyskanie danych zarówno pod względem częstotliwości występowania, rozkładu geograficznego, jak również obszarów tematycznych publikacji i współpracy międzynarodowej.

Świat

Wyszukiwanie dla wszystkich słów kluczowych wskazanych w tab. 5 wskazało, że w latach 2010–2021 ukazało się blisko 680 tysięcy publikacji z zakresu technologii Przemysłu 4.0. Połowa z tej liczby to artykuły naukowe, a 42% – materiały konferencyjne. Pozostałą część stanowią recenzje i materiały „wczesne-

go dostępu” (*early access*)⁸, ale także książki (547) i rozdziały w książkach (10 tys.). Około 5,5 tys. spośród prezentowanych materiałów zalicza się (wg. WoS) do kategorii „gorących” (*hot papers*)⁹. W badanym okresie łącznie indeksowano ponad 36 mln publikacji, co oznacza, że badany zbiór stanowi ich niecałe 1,9%.

Rysunek 4. Liczba publikacji naukowych z zakresu technologii Przemysłu 4.0 w latach 2010–2021



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Web of Science

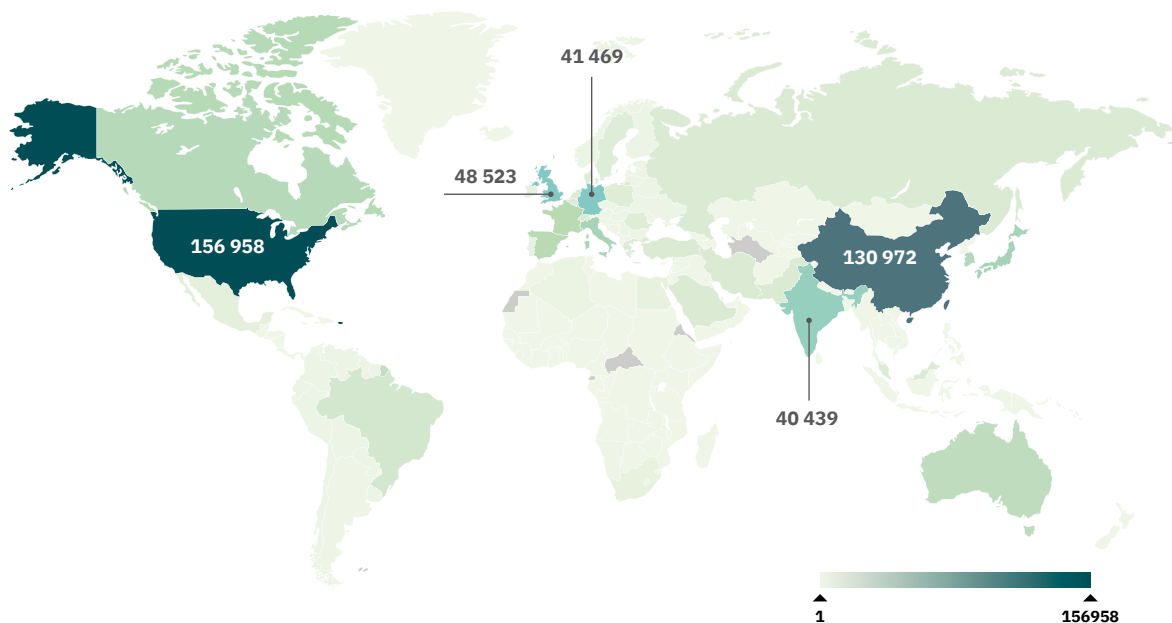
⁸ Są to wersje artykułów, które są zaakceptowane do druku, ale publikowane jeszcze przed ostateczną redakcją i wydaniem.

⁹ Artykuły, które osiągają dużą liczbę cytowań w okresie dwóch, trzech lat po wydaniu, mające często duże znaczenie na określonym polu badawczym.

Średnioroczny przyrost nowych publikacji z zakresu Przemysłu 4.0 w latach 2010–2021 wynosił ok. 20% rocznie, podczas gdy dla wszystkich publikacji w Web of Science było to w tym okresie średniorocznie 4%. Największa dynamika rocznego przyrostu publikacji przypadła na lata 2018–2019,

kiedy to osiągała blisko 30%. Co ciekawe, gdyby wyłączyć jedną z najbardziej licznych kategorii (*robot**), można by zaobserwować niewielki spadek publikacji w 2021 roku. Szybki przyrost liczby publikacji występuje często w przypadku nowych i dynamicznie rozwijających się obszarów wiedzy.

Rys. 5. Rozkład przestrzenny afiliacji autorów publikacji naukowych z zakresu technologii Przemysłu 4.0 w latach 2010-2021.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Web of Science

W ujęciu geograficznym można wskazać kilka głównych ośrodków, w których podejmowana jest tematyka technologii Przemysłu 4.0. Przede wszystkim są to Stany Zjednoczone oraz Chiny. W tych państwach liczba publikacji jest najwyższa, co jest następstwem ich dużego potencjału ludnościowego i naukowego. Silnym ośrodkiem jest także Europa, przede wszystkim zachodnia. W szczególności dotyczy to Wielkiej Brytanii i Niemiec (o względnie wysokiej pozycji w obszarze robotyki), ale także Włoch, Hiszpanii i Francji. W Azji, oprócz wymienionych Chin, dużo publikacji pochodzi z Indii. Mocną pozycję zajmuje także Japonia

(to jest zasługa m.in. wysokiej pozycji w zakresie robotyki), jak również Korea Południowa i Tajwan. Do wyróżniających się krajów należą także Kanada i Australia. Brazylia, dzięki swojemu dużemu potencjałowi, zajmuje czołowe miejsce w Ameryce Łacińskiej. Na świecie jest bardzo mało „białych plam”, czyli krajów, których nie reprezentuje żaden autor publikacji.

Poziom afiliacji autorów jest w pewnym stopniu odbiciem rozkładu geograficznego, ale większy wpływ ma stopień integracji poszczególnych jednostek naukowych w ramach tzw. czapek instytucjonalnych¹⁰. Najwięcej afiliacji

¹⁰ W tym przypadku chodzi o struktury organizacyjne wyższego rzędu, w ramach których funkcjonują jednostki naukowe, np. zespół uniwersytetów, akademie nauk, sieć naukowa.

mają: system Uniwersytetu Kalifornijskiego – w jego skład wchodzi dziesięć uniwersytetów, w tym m.in. Berkeley, Los Angeles (UCLA), Irvine, San Diego; następnie Chińska Akademia Nauk, francuski CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*), stowarzyszenie fran-

cuskich uniwersytetów UDICE, Uniwersytet Londyński, a także sieci uniwersytetów stanów Teksas, Floryda i Georgia. Pierwszą dziesiątkę najczęściej spotykanych afiliacji zamykają dwie bostońskie uczelnie: Uniwersytet Harvarda i Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Rys. 6. Najczęstsze obszary publikacji z zakresu technologii Przemysłu 4.0 na świecie.

Kategorie publikacji z Przemysłu 4.0

Kategorie Web of Science	Liczba publikacji	Udział
Elektrotechnika, elektronika	170 691	25%
Informatyka. Sztuczna inteligencja	111 685	16%
Informatyka. Systemy informacyjne	101 859	15%
Informatyka. Teoria i metody	98 756	15%
Robotyka	73 671	11%
Inżynieria i systemy łączy	67 115	10%
Systemy automatyzacji i kontroli	60 334	9%
Interdyscyplinarne zastosowania informatyki	48 972	7%
Informatyka. Inżynieria oprogramowania	33 901	5%
Informatyka. Architektura sprzętowa	27 983	4%
Materiałoznawstwo, wielodyscyplinarne	20 630	3%
Inżynieria wielodyscyplinarna	20 050	3%
Inżynieria mechaniczna	19 875	3%
Informatyka. Cybernetyka	18 129	3%
Instrumenty, oprzyrządowanie	17 074	3%

Publikacje mogły być przypisane do więcej niż jednej kategorii.

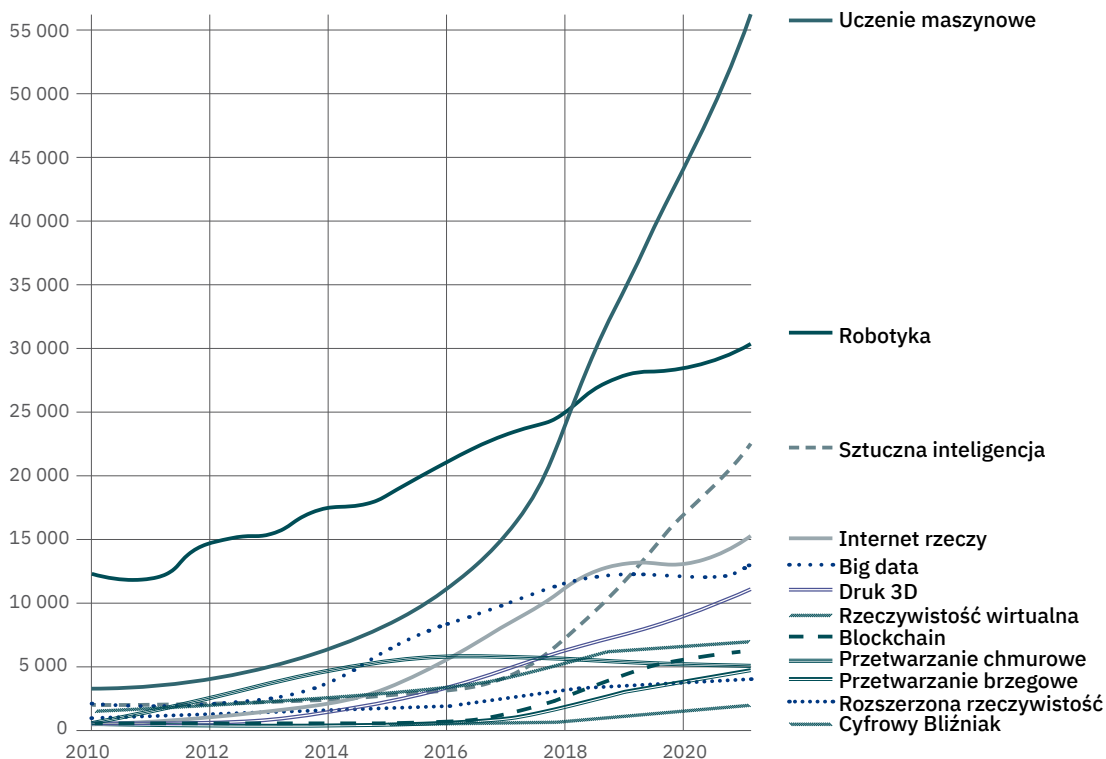
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Web of Science

Interesujące jest także spojrzenie na tematyczny rozkład dziedzinowy publikacji zawierających badane słowa kluczowe/technologie. Najwięcej z nich (25%) dotyczy elektrotechniki oraz elektroniki (*engineering electrical electronic*). Kolejne najbardziej popularne kategorie związane są z informatyką: teorią i metodami z zakresu informatyki (*computer science theory methods*), sztuczną intelligen-

cją (*computer science artificial intelligence*). Poza tymi kategoriami pojawia się także automatyka (*automation control systems*). Poza wyżej wskazanymi kategoriami można wskazać także materiałoznawstwo interdyscyplinarne (*material science interdisciplinary*), inżynierię mechaniczną (*engineering mechanical*) i instrumenty, oprzyrządowanie (*instruments, instrumentation*).

Rysunek 7. Liczba publikacji z zakresu technologii Przemysłu 4.0 w latach 2010–2021 w podziale na technologie

Przemysł 4.0 Technologie w publikacjach naukowych



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Web of Science

W ujęciu poszczególnych słów kluczowych/technologii widać różną dynamikę oraz zmienność popularności ich występowania w kolejnych latach. Największą dynamiką charakteryzują się powiązane ze sobą „sztuczna inteligencja” oraz „uczenie maszynowe”. Ich silniejszy wzrost, zwłaszcza na tle pozostałych technologii, widoczny jest po 2017 roku. Z kolei artykuły związane z robotyką (*robot**) na początku minionej dekady – czego można było oczekiwać – publikowane były zdecydowanie częściej niż w pozostałych latach. W 2019 roku nastąpiło przetłamanie objawiające się zmniejszeniem liczby tych

publikacji w stosunku do materiałów o tematyce uczenia maszynowego. Pozostałe technologie Przemysłu 4.0 także zyskują na popularności. Część z nich jest pojęciami nowymi, wykorzystywanymi w literaturze od niedawna. O ile pojęcia takie jak „cyfrowy bliźniak” (pojawilo się w 2013 roku), oraz „przetwarzanie brzegowe” (po raz pierwszy w 2012 roku) nadal cieszą się niewielką popularnością, to w przypadku tematyki dotyczącej *blockchain* jest odwrotnie. Tutaj pierwsza publikacja pojawiła się w 2013 roku, a w 2021 roku ukazało się ponad 5 tys. publikacji dotyczących tej technologii.

Rysunek 8. Czołowe pięć krajów pod względem udziałów w publikacjach w latach 2010–2021 w podziale na technologie

Słowo kluczowe	1.	2.	3.	4.	5.
Robotyka	USA 22,9%	Chiny 18,2%	Japonia 8,0%	Niemcy 6,8%	Włochy 5,8%
Rozszerzona rzeczywistość	USA 19,5%	Chiny 10,1%	Niemcy 9,0%	Japonia 6,2%	Hiszpania 5,7%
Rzeczywistość wirtualna	USA 23,2%	Chiny 12,8%	Niemcy 8,0%	Anglia 7,4%	Włochy 5,5%
Druk 3D	USA 26,8%	Chiny 18,9%	Niemcy 6,7%	Anglia 6,5%	Korea Płd. 4,9%
Big data	Chiny 27,5%	USA 24,9%	Anglia 6,9%	Indie 6,2%	Niemcy 4,8%
Przetwarzanie chmurowe	Chiny 27,1%	USA 16,3%	Indie 13,7%	Anglia 4,8%	Australia 4,1%
Blockchain	Chiny 26,6%	USA 18,5%	Indie 8,5%	Anglia 7,0%	Australia 5,6%
Uczenie maszynowe	USA 29,3%	Chiny 17,3%	Indie 7,4%	Anglia 6,7%	Niemcy 6,4%
Sztuczna inteligencja	USA 21,0%	Chiny 18,3%	Anglia 7,2%	Indie 6,7%	Niemcy 5,4%
Cyfrowy bliźniak	Niemcy 18,0%	Chiny 17,6%	USA 13,7%	Anglia 8,0%	Włochy 7,1%
Internet rzeczy	Chiny 23,8%	USA 15,2%	Indie 10,4%	Korea Płd. 5,7%	Włochy 5,4%
Przetwarzanie brzegowe	Chiny 43,1%	USA 19,7%	Anglia 6,5%	Włochy 6,2%	Kanada 6,1%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Web of Science

Wśród dwunastu uwzględnionych technologii praktycznie w każdym przypadku widoczna jest dominacja publikacji z USA lub z Chin. Sześć razy na pierwszym miejscu pod względem ich liczby znalazły się USA (robotyka/automatyzacja, rozszerzona rzeczywistość – AR, rzeczywistość wirtualna –VR, druk 3D,

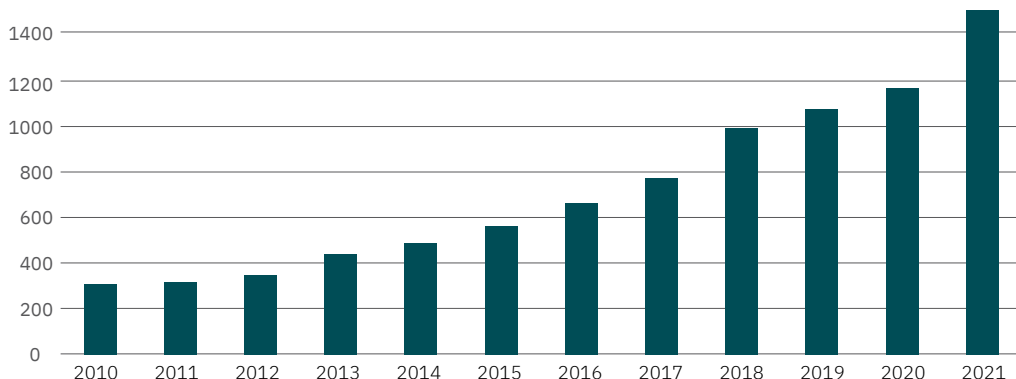
uczenie maszynowe, sztuczna inteligencja), a w pięciu przypadkach były to Chiny (internet rzeczy – IoT, przetwarzanie brzegowe, blockchain, przetwarzanie chmurowe – CC, big data). Tylko raz było to inne państwo – w publikacjach z uwzględnieniem terminu „cyfrowy bliźniak” na pierwszym miejscu

uplasowały się Niemcy. Interesujące jest także spojrzenie, kto zajmował dalsze miejsca. W przypadku robotyki i AR były to Niemcy i Japonia, VR i druku 3D – Niemcy i Anglia¹¹. *Big data*, przetwarzanie chmurowe, *blockchain* i uczenie maszynowe – to Indie i Anglia. Internet rzeczy to także Indie i Korea Płd., a przetwarzanie brzegowe – Anglia, Włochy i Kanada. Pokazuje to, że niektóre kraje pod względem publikacji naukowych mogą wypracowywać swoje „względne” specjalizacje, choć oczywiście jest to ocena oparta wyłącznie o dane ilościowe.

Polska

Polska z blisko 8,3 tys. publikacji zajmuje 24. miejsce na świecie i 7. miejsce w UE27 pod względem ich liczby. Średnioroczna dynamika przyrostu publikacji była zbliżona do światowej. Liczba publikacji w 2021 roku wzrosła o 628% w stosunku do roku 2010, podczas gdy na świecie zanotowano wzrost o 708%. Można więc przyjąć założenie, że intensywność prac z wykorzystaniem badanych technologii/słów kluczowych w Polsce jest zbliżona z tendencją światową.

Rysunek 9. Liczba publikacji naukowych z zakresu technologii Przemysłu 4.0 w latach 2010–2021 z udziałem autorów z Polski



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Web of Science

Największą liczbą afiliacji instytucjonalnych mogą pochwalić się: Politechnika Warszawska (847) oraz Politechnika Wrocławska (734). Polska Akademia Nauk zajmuje trzecie miejsce (720), a za nią plasują się kolejne uczelnie techniczne: Akademia Górniczo-Hutnicza (676), Politechnika Śląska i Politechnika Poznańska (po 580). Uniwersytety zajmują dalsze miejsca, w tym gdański Związek Uczelni Fahrenheita¹² (372), Uniwersytet Warszawski (339) oraz Uniwersytet Jagielloński (305).

Rozkład tematyczny publikacji polskich autorów różni się nieznacznie od rozkładu światowego.

W kategoriach WoS najwięcej publikacji odnotowano w grupie związanej ze sztuczną inteligencją (*computer science artificial intelligence*) – ok. 22%, podczas gdy średnia światowa kształtuje się na poziomie 16%. Stosunkowo mniejszą liczebność zarejestrowano w grupie związanej z inżynierią elektroniczną i elektroniką (*engineering electrical electronic*) – 20%, podczas gdy na świecie to 25%. Inne wyróżniające się grupy związane są z informatyką to: *computer science theory methods* (15% vs. 14,5% na świecie) i *computer science information systems* (14% vs 15%). Stosunkowo większa różnica występuje w kategorii automatyka – systemy kontroli (11%

¹¹ W bazie podawane są odrębnie dane dla Anglii, Walii, Szkocji i Irlandii Północnej

¹² Związek został powołany w 2020 roku; w jego skład wchodzi Gdański Uniwersytet Medyczny, Uniwersytet Gdański i Politechnika Gdańska.

vs 9%). W porównaniu z rozkładem ogólnoswiatowym, w Polsce występują różnice pod względem popularności poszczególnych obszarów, ale nie są one znaczące. W podziale

na obszary naukowe, 42% publikacji znajduje się w dziedzinie nauk informatycznych, a 34% – inżynieryjnych. Po około 6% przypisanych jest do natomiast do fizyki i chemii.

Rysunek 10. Najczęstsze obszary publikacji z zakresu technologii Przemysłu 4.0 z udziałem autorów z Polski

Polska. Kategorie publikacji z Przemysłu 4.0

Kategorie Web of Science	Liczba publikacji	Udział
Informatyka. Sztuczna inteligencja	1863	22%
Elektrotechnika, elektronika	1700	21%
Informatyka. Teoria i metody	1245	15%
Informatyka. Systemy informacyjne	1196	14%
Systemy automatyzacji i kontroli	905	11%
Robotyka	816	10%
Interdyscyplinarne zastosowania informatyki	539	7%
Inżynieria i systemy łączności	472	6%
Inżynieria wielodyscyplinarna	383	5%
Fizyka stosowana	343	4%
Materiałoznawstwo, wielodyscyplinarne	337	4%
Inżynieria mechaniczna	330	4%
Informatyka. Inżynieria oprogramowania	323	4%
Instrumenty, oprzyrządowanie	323	4%
Matematyka stosowana	272	3%

Publikacje mogły być przypisane do więcej niż jednej kategorii.
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Web of Science

Część artykułów powstała we współpracy zagranicznej. Oprócz polskich autorów do artykułów afiliowani byli także współautorzy ze Stanów Zjednoczonych (548), Niemiec (422), Anglii (369), Włoch (361), Hiszpanii (309) i Francji (254). Spoza Europy i USA największą liczbę kooperacji odnotowano z Chińską Republiką Ludową (247 współautorów) i Kanadą (224).

Prace powstały z wykorzystaniem dość zróżnicowanego finansowania, zarówno ze środków krajowych, jak i zagranicznych. Wśród najbardziej popularnych źródeł autorzy wskazywali Komisję Europejską i jej programy (825), Narodowe Centrum Nauki – NCN (687)¹³, Ministerstwo Edukacji i Nauki (447), a także NCBR (301). Z zagranicznych instytucji (poza KE) największą liczbę finansowa-

¹³ Ze względu na bardzo różne zapisy stosowane przez autorów, liczby te należy traktować orientacyjnie. W wielu przypadkach zdarzało się bowiem, że nazwa tej samej instytucji była zapisywana nawet na kilkadziesiąt różnych sposobów.

ła Niemiecka Fundacja Nauki DFG (*Deutsche Forschungsgemeinschaft*) i brytyjska UKRI (*UK Research and Innovation*).

Przy interpretacji wyników należy uwzględnić to, że przedstawiciele środowisk naukowych często próbują dostosować zakres i wyniki prowadzonych badań do nowo pojawiających się nurtów w rozwoju przemysłu. Tym samym wiele publikacji wskazujących na Przemysł 4.0 nie ujmuje bezpośrednio opisanej problematyki czwartej rewolucji przemysłowej lub jej podstawowego kontekstu. Z drugiej strony, część publikacji odwołuje się do dziedzin nauki bezpośrednio związanych z Przemysłem 4.0, jednak nie zawiera słów kluczowych ujmujących nowe podejście, co determinuje brak możliwości dodania ich do analizowanego zbioru publikacji.

Liczba publikacji we wskazanym zakresie jest szczególnie związana z rozwijającym się nurtem Przemysłu 4.0. Wiele artykułów stanowi jednak przegląd rozwiązań technologii leżących u podstaw Przemysłu 4.0 (tj. ogólny

opis zasad czwartej rewolucji przemysłowej). W przypadku krajów rozwijających się, tematyka publikacji dotyczy raczej kontekstu przeglądu dostępnych technologii, rozwiązań oraz możliwych wdrożeń – głównie studiów przypadku (które są dalekie do uzyskania prawa patentowego, z uwagi na niski poziom gotowości technologicznej lub całkowity jej brak). W wielu opisanych przypadkach brakuje również istotnych odwołań do rozwoju nowych technologii, oprogramowania lub pozostałych znaczących elementów innowacyjności w obszarze badań własnych danego kraju.

Publikacje skorelowane są z liczbą wniosków patentowych i udzielonych patentów. Jednak w krajach charakteryzujących się długim czasem procedur patentowych autorzy stawiają raczej na nieujawnianie zakresu patentu na rzecz publikacji badań w formie artykułów, co na przykład może być związane bezpośrednio z koniecznością spełnienia wymagań odnoszących się do warunków awansu naukowego.

III.3. Trendy w patentowaniu

- Stany Zjednoczone przodują na świecie, jeśli chodzi o rozwój technologii Przemysłu 4.0.
- Uczenie maszynowe i sztuczna inteligencja są obszarami, które na tle pozostałych coraz częściej występują w patentach i mają wyższą dynamikę wzrostu niż pozostałe.
- Liczba patentów z Polski jest stosunkowo niska. Polscy wynalazcy patentują stosunkowo dużo dla podmiotów zagranicznych.
- W „powstawaniu technologii”, uwzględniającym także miary patentowe, Polska jest blisko średniej unijnej w obszarze internetu rzeczy (internet of things).

Statystyki patentowe w pewnym stopniu mogą służyć określeniu trendów w zakresie rozwoju technologii w danym obszarze. Analiza ilościowa patentów pozwala na określenie, w jakich obszarach nauki i techniki są one składane, jakie słowa kluczowe wykorzystuje się w ich opisach oraz to, z jaką intensywnością i przez kogo są składane.

Jedna z ważniejszych publikacji zawierających zestawienie statystyk patentowych z obszaru Przemysłu 4.0 została opublikowana przez Europejski Urząd Patentowy (EPO) w 2020 roku. Dotyczy ona technologii czwartej rewolucji przemysłowej (*4th industrial revolution*), które w dużym zakresie mogą być utożsamiane z pojęciem Przemysłu 4.0 (kwestie definicyjne zostały omówione w rozdziale I.1). Główne wnioski płynące z publikacji wpisują się w przedstawione wcześniej megatrendy. Po pierwsze podkreślono rolę danych: to na nich opiera się czwarta rewolucja przemysłowa. To dane przekształcają światową gospodarkę wraz ze wzrostem znaczenia inteligentnych urządzeń, szybkości internetu bezprzewodowego oraz dzięki rozwojowi *big data* i sztucznej inteligencji. Technologie cyfrowe odpowiadają za około 10% innowacji, a liczba aplikacji wzrasta w tempie o około 20% rocznie, co znacznie wyprzedza dynamikę wzrostu pozostałych aplikacji patentowych. Rozwiązania z zakresu czwartej rewolucji przemysłowej

można znaleźć we wszystkich obszarach naszego życia.

Europejski Urząd Patentowy zastosował wielostopniowe podejście, polegające na eksperckim doborze obszarów według kodów Wspólnej Klasyfikacji Patentowej (CPC), w których można wdrażać wynalazki z zakresu czwartej rewolucji przemysłowej. Kody CPC umożliwiają wyszukiwanie tekstowe we wskazanych obszarach, znakowanie i liczenie patentów. Technologie podzielono na główne oraz wspomagające. Dodatkowo – jak było wspomniane – określono obszary, w których technologie są wdrażane¹⁴.

W związku z brakiem bardziej szczegółowych danych dotyczących trendów technologicznych i dla Polski, dane EPO uzupełniono o analogiczne wyszukiwania, jak w rozdziale dotyczącym publikacji naukowych. Oparto je o prostsze metodologicznie podejście, koncentrując się na wyszukiwaniu (czyli tzw. *text mining*) opartym o słowa kluczowe/nazwy technologii¹⁵ wskazane w części I.3. Prowadzone wyszukiwanie nie jest tożsame z przeprowadzonym przez EPO, choć technologie te w pewnym stopniu pokrywają się. Także bardziej szczegółowa analiza wyników po kodach Międzynarodowej Klasyfikacji Patentowej (MKP) pokazuje taką zbieżność. W badaniu wykorzystano bazę patentową Espacenet Europejskiego Urzędu Patentowego. Wyszukiwanie zawężono do lat 2010–2021.

¹⁴ Interesujące podejście zastosowało także WIPO w swoim badaniu patentowym sztucznej inteligencji (AI): WIPO (2019).

¹⁵ Analiza patentów po wyrażeniu „Przemysł 4.0” przynosi mało wyników (ok. 6,7 tys.) – w dużym stopniu są to patenty składane przez podmioty niemieckie. Nie jest to zaskakujące, ale wskazuje na ograniczoną rozpoznawalność terminu poza Niemcami. Także część pojęć używanych w kontekście Przemysłu 4.0, jak np. *dark factory*, jest używana bardzo rzadko.

Przy interpretacji otrzymanych wyników należy zwrócić uwagę, że są to dane ilościowe, nieuwzględniające jakości patentów, a także tego, czy i w jaki sposób są one wykorzystywane w praktyce gospodarczej. Należy mieć na uwadze także różnice pomiędzy poszczególnymi krajowymi systemami ochrony własności przemysłowej¹⁶.

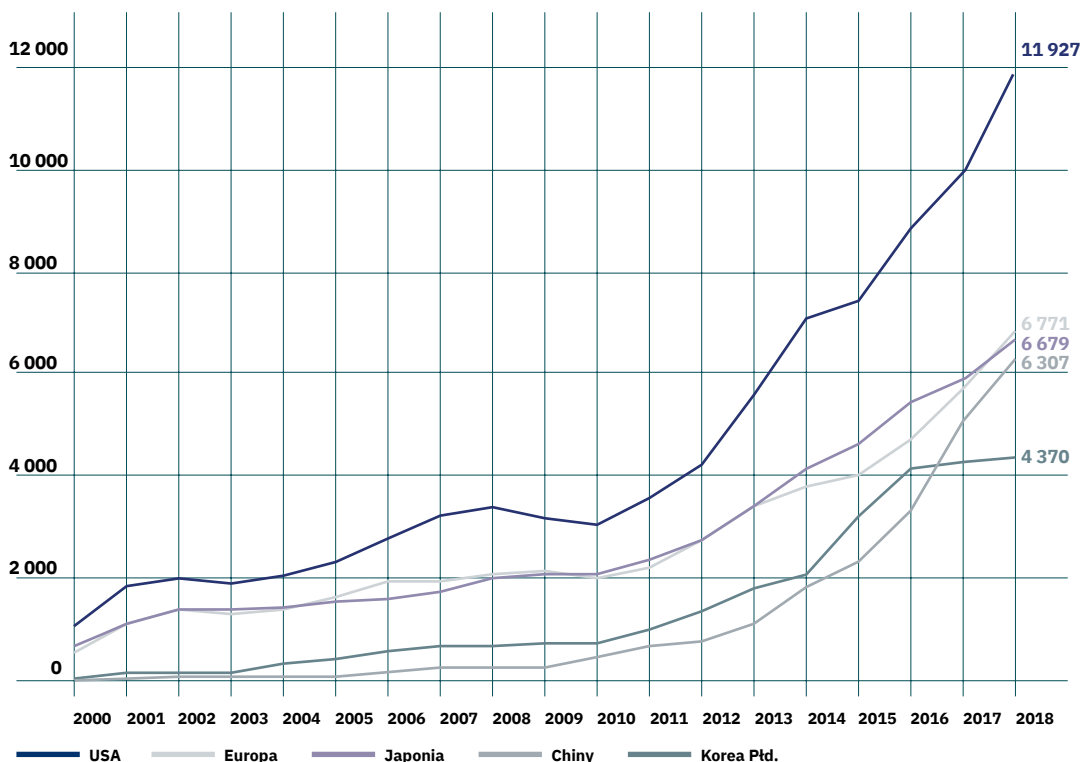
Na dane wpływają również polityki dużych przedsiębiorstw, najczęściej korporacji międzynarodowych, które rozwiązania patentują masowo, by potencjalnie uzyskać przewagi konkurencyjne. Należy także zwrócić uwagę na inne modele i powody patentowania przez jednostki naukowe i przedsiębiorstwa.

Badanie Europejskiego Urzędu Patentowego

Europejski Urząd Patentowy w swoim badaniu zidentyfikował około 270 tys. patentów (rodzin patentowych, *international patent families* – IPF) z zakresu czwartej

rewolucji przemysłowej. Liczba przyznawanych patentów rocznie zaczęła szybciej rosnąć w drugiej połowie drugiej dekady XXI wieku.

Rysunek 11. Wzrost liczby patentów dla technologii czwartej rewolucji przemysłowej w latach 2000–2018 w podziale na obszary geograficzne



Źródło: EPO (2020), s.10

Generalnie można wskazać trzy obszary świata, w których patentowanie wynalazków z zakresu czwartej rewolucji przemysłowej odbywa się na dużą skalę. Są to: Ameryka

Północna, Europa oraz Azja Południowo-Wschodnia. Liderem są Stany Zjednoczone, które w ostatniej dekadzie, dzięki wyższej dynamice rocznego przyrostu patentów, wy-

¹⁶ Dotyczy to np. patentowania rozwiązań w zakresie oprogramowania i różnic w podejściu do tego zagadnienia, np. w Stanach Zjednoczonych i w Europie.











rażnie wyprzedziły Europę. Wysokie dynamiki wzrostu obserwuje się także w Japonii, Korei Płd. oraz w Chinach. EPO zidentyfikowało również ośrodki, w których powstają technologie. Na ogół są to duże aglomeracje, w których znajdują się centrale korporacji

(np. Seul, Tokio, Seattle), centra akademickie (np. Boston), a także ośrodki, w których jest wysoko rozwinięta kultura innowacyjna (np. rejon San Jose w Kalifornii, czyli Dolina Krzemowa). Często miejsca te łączą ze sobą kilka z wyżej wymienionych cech.

Rysunek 12. Liderzy pod względem patentów dla technologii rewolucji przemysłowej 4.0 w latach 2000–2018

Rewolucja Przemysłowa 4.0

10 najwięcej patentujących podmiotów w latach 2010–2018

Nazwa	Udział
 SAMSUNG ELECTRONICS	5,2%
 LG ELECTRONICS	2,9%
 QUALCOMM	2,7%
 SONY	2,4%
 HUAWEI	2,1%
 INTEL	2,0%
 MICROSOFT	1,8%
 ERICSSON	1,7%
 NOKIA	1,5%
 APPLE	1,5%

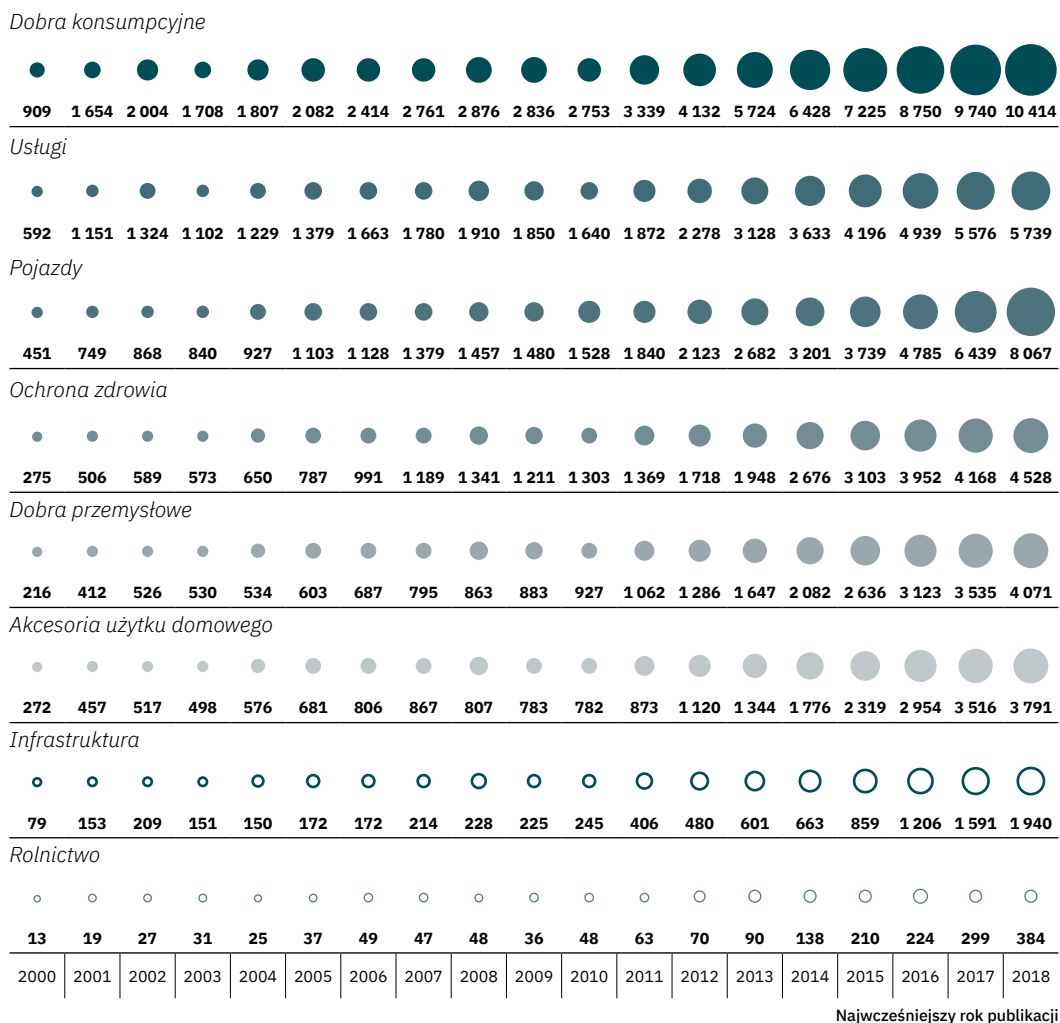
Źródło: EPO (2020), s.12

Wśród podmiotów, które posiadają najwięcej patentów, dominują duże korporacje – mają one około ¼ ogólnej liczby patentów. Struktura geograficzna patentowania ma przełożenie na listę podmiotów z największą liczbą patentów w portfolio. Są to Samsung Electronics i LG (koreańskie czubo¹⁷ specjalizujące

się głównie w elektronice), amerykańskie Qualcomm (specjalizujące się w komunikacji bezprzewodowej), Intel, Microsoft (producent oprogramowania), Apple, pochodząca z Japonii firma Sony, korporacje skandynawskie: Ericsson i Nokia oraz chińskie Huawei (wszystkie z obszaru elektroniki).

¹⁷ Tym mianem określa się duże południowokoreańskie rodzinne konglomeraty przedsiębiorstw, na ogół o charakterze przemysłowym.

Rysunek 13. Wzrost liczby patentów dla technologii rewolucji przemysłowej 4.0 w latach 2000–2018 w podziale na obszary zastosowania



Źródło: EPO (2020), s.9

Porównanie obszarów zastosowań patentów z zakresu rewolucji przemysłowej 4.0 obrazuje zarówno wagę danego obszaru, jak i to, gdzie najszybciej zachodzą lub mogą zachodzić zmiany stanu techniki. Według zastosowanej przez EPO klasyfikacji największa liczba patentów (rodzin patentowych) składowanych w ostatnim dostępnym roku (2018) dotyczy dóbr konsumpcyjnych, pojazdów i usług. Dopiero na piątym miejscu wskazano zastosowania przemysłowe. Dynamika przyrostu patentów w latach 2000–2018 ogółem

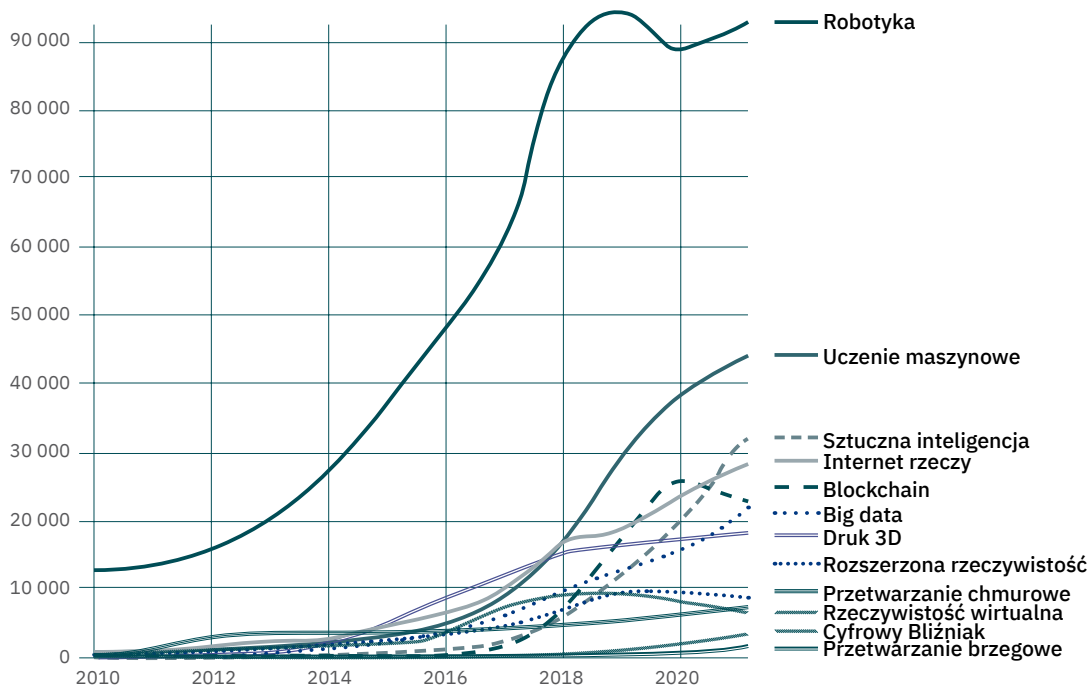
była dość wysoka. W większości obszarów ich liczba zwiększyła się kilkunastokrotnie.

Analiza w bazie Espacenet

Do określenia trendów w zakresie zastosowanych technologii przeprowadzono wyszukiwanie z wykorzystaniem słów kluczowych w bazie Espacenet dla lat 2010–2021. Wyszukiwanie prowadzono po tytułach, abstraktach i zastrzeżeniach patentowych. Dane te posłużyły także do przyjrzenia się, jak pod tym kątem wypada Polska.

Rysunek 14. Liczba patentów dla technologii rewolucji przemysłowej 4.0 w latach 2000–2021 w podziale na technologie

Przemysł 4.0 Technologie w publikacjach naukowych



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Espacenet

Analizowane technologie Przemysłu 4.0 zaczęły się rozwijać przede wszystkim w poprzedniej dekadzie. Jedynym wyjątkiem (który też powinien zostać potraktowany odrębnie względem pozostałych technologii/słów kluczowych) jest robotyka. W badaniu przyjęto uproszczone założenie, że obrazuje ją częstotliwość występowania rdzenia słowa *robot**. Patenty z udziałem tego słowa kluczowego występują najczęściej – były stosunkowo liczne zarówno na początku minionej dekady, jak i później, choć od 2019 roku dynamika przyrostu tak identyfikowanych patentów wyhamowała. Natomiast pozostałe technologie/słowa kluczowe przed 2010 rokiem występowały rzadko albo wcale. Dla wielu punktem przelomowym były ostatnie lata drugiej dekady XXI wieku, w szczególności lata 2017–2018.

Najbardziej znaczący był wzrost liczby przyznanych patentów związanych ze sztuczną

inteligencją (31 tys. w 2021 roku) oraz z powiązanim z nią uczeniem maszynowym (43 tys. w 2021 roku). Interesujący jest także szybki przyrost patentów, w których pojawia się słowo *blockchain*. Do 2014 rocznie patentowano tylko kilka takich wynalazków, podczas gdy w 2020 roku było ich już około 25 tys. (w 2021 roku ich liczba spadła do około 20 tys.). Z drugiej strony, widoczna jest nadal niska popularność terminu cyfrowy bliźniak (*digital twin*) i przetwarzania brzegowego (*edge computing*). W praktyce zaczęły one występować dopiero w latach 2017 i 2018, a znaczący przyrost nastąpił po 2020 roku.

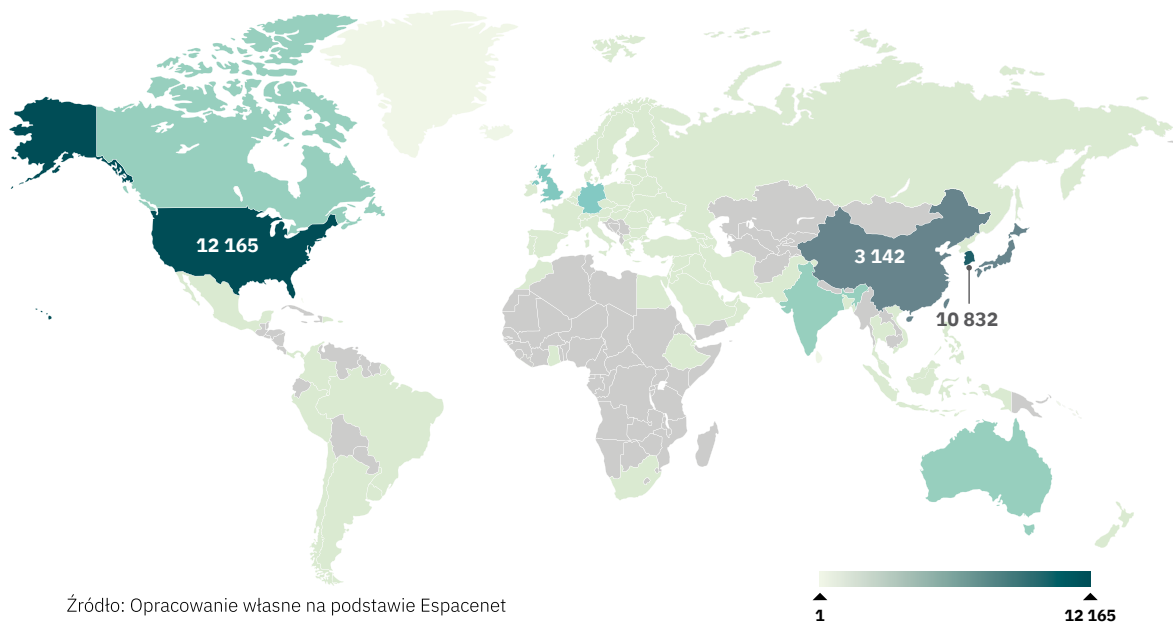
W ostatnich trzech latach natomiast pewną stagnację pod względem liczby patentów można zaobserwować dla wirtualnej rzeczywistości (*virtual reality*), rozszerzonej rzeczywistości (*augmented reality*) i przetwarzania chmurowego.

wego (*cloud computing*). Tutaj liczba patentów przyznawanych w ostatnim roku pozostaje na zbliżonym lub tylko nieznacznie wyższym poziomie w stosunku do lat poprzednich.

W prawie każdym przypadku analizowanej technologii/słowa kluczowego widać przewagę Stanów Zjednoczonych wśród krajów, z których pochodzą właściciele patentów. Jedynym wyjątkiem jest *big data* – najwięcej patentów pozyskują podmioty z Korei Płd. Poza USA w czołówce krajów, z których pochodzą właściciele patentów, są państwa azjatyckie: przede wszystkim Korea Płd. i Chiny. W niektórych technologiach widocz-

ne są także Niemcy, a na dalszych miejscach plasują się: Wielka Brytania, Tajwan, Kanada i Japonia. Ciekawostką jest natomiast wysoka pozycja Kajmanów (3 miejsce) jako kraju pochodzenia podmiotów patentujących w przypadku technologii *blockchain*. Należy jednak domniemywać, że pozycja ta nie wynika z prowadzenia w tym kraju związanych z *blockchain* prac B+R – wiąże się to raczej z liberalnym prawodawstwem i faktem, że kraj ten zalicza się do finansowych centrów offshoringowych oraz bezpiecznych rajów podatkowych. Sprzyja to lokalizacji na Kajmanach przedsiębiorstw zajmujących się kryptowalutami.

Rysunek 15. Rozkład przestrzenny podmiotów patentujących z zakresu sztucznej inteligencji w latach 2010-2021.



Źródło: Opracowanie własne na podstawie Espacenet

To, jak wygląda rozkład geograficzny udzielonych patentów, można zaobserwować na przykładzie jednej z najbardziej dynamicznie rozwijających się technologii – sztucznej inteligencji. Widoczna jest dominacja dwóch krajów: USA i Korei Płd. przy stosunkowo silnej pozycji Chin. Technologia ta w większej skali patentowana jest także w Japonii, Kanadzie, na Tajwanie oraz w Europie Zachodniej: Niemczech,

Irlandii i Wielkiej Brytanii. Stosunkowo dużą liczbę patentów posiadają także podmioty z Izraela. Odmiennie wygląda natomiast lista podmiotów mających najwięcej patentów w swoim portfolio. Dominują głównie korporacje chińskie: Ping An Technology, Baidu, Tencent, a także Huawei. W czołówce obecne są także koreańskie LG i Samsung. Z amerykańskich firm najwyższe lokuje się IBM.

Najpopularniejsze klasy Międzynarodowej Klasyfikacji Patentowej, do których należą opisane wynalazki, obejmują: *sposoby lub urządzenia do rozpoznawania kształtów (sposoby lub urządzenia do odczytywania grafiki lub do przetwarzania wzorca parametrów mechanicznych, np. siły lub obecności, na sygnały elektryczne – G06K9)* – około 21% patentów, i *układy obliczeniowe oparte na modelach biologicznych*

(G06N3) – w przybliżeniu 20%. Inne popularne kategorie to: *wyszukiwanie informacji; struktury baz danych do tych celów; struktury systemów plików do tych celów (G06F16) – 14% patentów i administracja, zarządzanie* (odnoszące się do systemów lub metod przetwarzania danych, obejmujące min. automatyzację pracy biurowej, optymalizację i prognozowanie) – 10% patentów.

Rysunek 16. Statystyki patentowe dla Polski w zakresie technologii Przemysłu 4.0

Polska. Kategorie publikacji z Przemysłu 4.0

	Liczba afiliacji polskich właścicieli patentu	Liczba patentów	Liczba afiliacji z Polski wśród wynalazców
Robotyka	287	251	352
Rozszerzona rzeczywistość	14	13	47
Rzeczywistość wirtualna	16	15	47
Druk 3D	148	104	172
Big data	0	0	2
Przetwarzanie chmurowe	8	5	39
Blockchain	24	7	41
Uczenie maszynowe	31	23	172
Sztuczna inteligencja	18	11	61
Cyfrowy bliźniak	0	0	2
Internet rzeczy	4	4	42
Przetwarzanie brzegowe	0	0	2

Źródło: opracowanie własne na podstawie Espacenet

Zarówno podmioty patentujące z Polski, jak i polscy wynalazcy są obecni w statystykach, nie jest to jednak istotny udział w kontekście dużej liczby patentów związanych z każdą z technologii. Stosunkowo dużo patentów związanych jest z drukiem 3D, w którym to obszarze polskie podmioty w ostatnich 12 latach otrzymały 148 patenty. Liderem wśród nich

jest rodzimy producent drukarek 3D Zortrax SA. Ogół wskazanych patentów należy głównie do grupy patentów krajowych, jak również międzynarodowych (zgłaszanych także w trybie PCT i do EPO). Duża liczba patentów oraz podmiotów, które otrzymały patenty, jest także obecna w największej liczebnie kategorii: robotyki. Tutaj w odróżnieniu od pozostałych

technologii polskie podmioty (w liczbie 287) patentują przede wszystkim w Polsce.

Polskie podmioty patentują także w większości pozostałych technologii, ale nielicznie i głównie za granicą (w USA) lub w trybach międzynarodowych (PCT, EPO). Najbardziej aktywne są w uczeniu maszynowym, *blockchain* i sztucznej inteligencji. W obszarach dotyczących bliźniaka cyfrowego, przetwarzania brzegowego i *big data* polskie podmioty są nieobecne, a udział polskich wynalazców jest śladowy. Niski poziom uczestnictw polskich podmiotów nie zaskakuje – jest on potwierdzeniem obserwacji z innych badań o ich niechęci do patentowania. Polska ogółem ma małą liczbę patentów. Liczba zgłaszanych do UP RP patentów od lat utrzymuje się na podobnym poziomie z niewielką tendencją spadkową. Wynika to zarówno z niskiej kultury patentowania, jak i braku dużych rodzimych korporacji prowadzących intensywne prace B+R.

Liczba wynalazców lub współwynalazców pochodzących z Polski jest znacznie większa niż liczba patentów polskich przedsiębiorstw. Wynika to z tego, że polscy współwynalazcy często prowadzą prace na rzecz podmiotów zagranicznych, w tym korporacji transnarodowych. W przypadku braku popytu na innowacje i badania ze strony rodzimych podmiotów, umożliwia to kontakt z wytwarzaniem nowoczesnych technologii. Polscy wynalazcy intensywnie patentują dla przedsiębiorstw z USA, ale także dla korporacji z Korei Płd. i krajów europejskich. W przypadku rzeczywistości wirtualnej jako jedną z takich korporacji można wskazać Samsung, a dla *blockchain* – IBM. Z kolei w przypadku przetwarzania chmurowego są to: Intel, Cloudflare, Egnyte czy IBM. W obszarze internetu rzeczy przodują IBM, Motorola i Samsung. Część z tych przedsiębiorstw pojawia się też w dziedzinie uczenia maszynowego, są to: Intel, IBM, General Electric i Samsung.

Dane umożliwiają także przyjrzenie się kierunkom kooperacji międzynarodowej polskich współwynalazców. W przypadku automatyzacji współpraca jest prowadzona głównie z wynalazcami z Niemiec, USA i Chin. Z kolei współwynalazcami w obszarze sztucznej inteligencji są głównie Koreańcy i Amerykanie. W obszarze przetwarzania chmurowego i uczenia maszynowego współpraca odbywa się w dużej mierze z obywatelami USA. Natomiast stosunkowo zróżnicowana pod względem geograficznym jest kooperacja przy patentach z dziedziny AR i VR. Najprawdopodobniej najsilniej na kierunki współpracy wpływa to, że odbywa się ona w ramach międzynarodowych projektów i struktur korporacyjnych.

W procesie patentowym w pewnym stopniu uczestniczą także polskie jednostki naukowe, które posiadają patenty w tak określonych technologiach. Szczególnie jest to widoczne w przypadku automatyzacji, gdzie najwięcej patentów posiada Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów z Sieci Badawczej Łukasiewicz. Istotny udział mają także politechniki – Akademia Górniczo-Hutnicza, Politechnika Śląska i Politechnika Krakowska. Drugą technologią, w której widoczne są uczelnie, jest druk 3D, gdzie pojawiają się Politechnika Lubelska, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego i Politechnika Wrocławska. Widoczne jest to także w przypadku rzeczywistości wirtualnej, w ramach której patenty posiadają Politechnika Lubelska i Politechnika Wrocławska.

Polska kultura patentowania jest stosunkowo niska, co wynika z kilku czynników. W przypadku środowisk akademickich ubiegają się one i uzyskują prawa wyłączne w zakresie ochrony własności przemysłowej głównie poprzez UPRP na poziomie krajowym. Powodem jest niski koszt uzyskania ochrony i jej utrzymania, ale wadę stanowi długa procedura patentowania, skutkująca silną degradacją znaczenia innowacyjności przedmiotu patentu (zwłaszcza w przypadku rozwiązań

high-tech), co w pewnych przypadkach przemawia za publikacją wyników badań w wysoko punktowanych czasopismach. Także zwiększona liczba patentów występuje w obszarach geograficznych o zagęszczonym występowaniu przedsiębiorstw lub instytucji warunkujących rozwój nowych technologii (dyfuzja wiedzy oraz współpraca naukowców ze środowiskiem przemysłowym). Sytuacja w zakresie patentowania w polskich przedsiębiorstwach jest bardziej skomplikowana. Koncerny międzynarodowe posiadające własne działy B+R, korzystając z potencjału polskich pracowników, wybierają formę zgłoszenia wynalazku zgodnie z procedurą międzynarodową (PCT). Ponadto istotna jest forma działalności przedsiębiorstw na rynku polskim oraz uwarunkowania korporacyjne w zakresie kraju zgłaszającego wniosek. Wiele firm działających na krajowym rynku jest zobowiązanych do zgłaszania nowych rozwiązań centralom zlokalizowanym w innych państwach, co powoduje, że złożenie wniosku przypisane jest krajowi, w którym zlokalizowana jest centrala. To skutkuje znacznym zmniejszeniem liczby patentów w regionach stanowiących siedziby oddziałów poszczególnych korporacji.

Ponadto obszary oraz tematyka zgłaszania patentów są silnie związane z wewnętrznymi potrzebami przemysłu. Wiele z wypracowanych rozwiązań nie jest patentowanych z racji uwarunkowań korporacyjnych, na które składają się: brak zrozumienia, niewłaściwy opis lub niechęć ze strony wewnętrznych zespołów oceniających potencjał rozwiązania. Bariery stanowią także: rozwiązania patentowe łatwe do zaprojektowania przez konkurencję (wąsko skoncentrowane), wpływ gigantów na

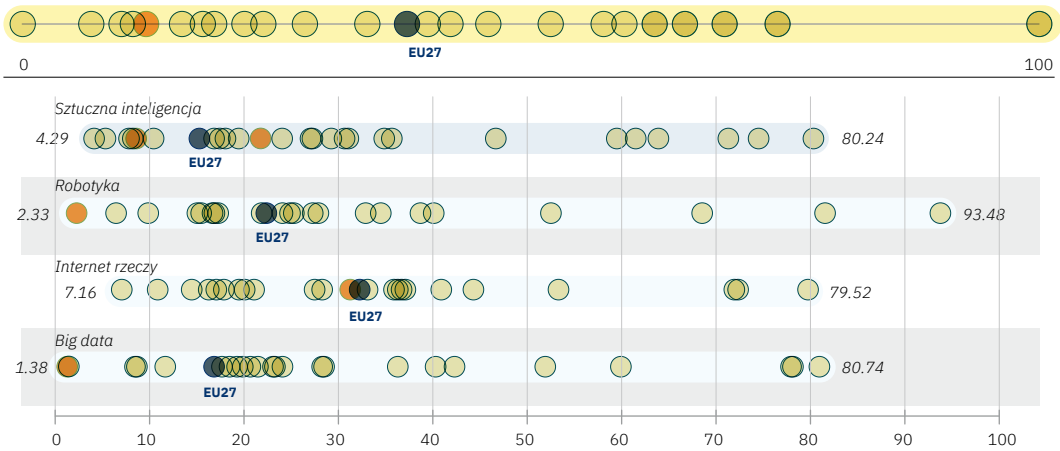
rozwój patentów i zastosowanie rozwiązań w specjalizowanych dziedzinach – aspekty zastosowania opatentowanego rozwiązania, szczególnie w przypadkach w których zysk rynkowy przewyższa znacznie poziom roszczeń odszkodowawczych (uzyskiwanych na etapie procesów sądowych). W przypadku przedsiębiorstw krajowych często (także w innych badaniach prowadzonych przez NCBR) wyrażane są obawy o nieprzestrzeganie praw własności przemysłowej przez konkurencję, a także o wysokie koszty ewentualnych postępowań sądowych i ich długość.

Ocena poziomu tworzenia danych technologii na tle UE

Ciekawym narzędziem porównawczym w zakresie technologii Przemysłu 4.0 jest udostępniona przez Komisję Europejską tablica wynikowa (*dashboard*) w zakresie zaawansowanych technologii dla Przemysłu 4.0. Jest to narzędzie online, które pozwala analizować wybrane technologie na różnych poziomach, m.in: tworzenia, umiejętności, przedsiębiorczości i infrastruktury, a także porównywać je między państwami. W przypadku „tworzenia technologii” (*technology generation*) wykorzystuje ono złożony wskaźnik oparty o miary patentowe oraz udział przedsiębiorstw wsparty środkami funduszy *venture capital* rozwijających dane technologie. Dane szczegółowe nie są dostępne dla wszystkich predefiniowanych w tablicy technologii, ale wobec tych dostępnych (AI, robotyzacja, IoT, *big data*) można wyznaczyć względną pozycję Polski w stosunku do UE i innych krajów europejskich. Dostępna jest także średnia dla wszystkich analizowanych w narzędziu technologii (w tym m.in. AR/VR, *blockchain*, *cloud computing*).

Rysunek 17. Pozycja Polski w stosunku do krajów UE względem tworzenia wybranych technologii Przemysłu 4.0

Średnia dla wszystkich zaawansowanych technologii



● Kolorem pomarańczowym jest zaznaczona pozycja Polski, kolorem ciemnoniebieskim średnia dla Unii Europejskiej (UE27).

Źródło: Advanced Technologies for Industry, data dashboard

Średnia wszystkich technologii pokazuje względne zapóźnienie Polski w stosunku do innych krajów UE i to nie tylko krajów Europy Zachodniej, ale także części krajów z Europy Środkowej. Najprawdopodobniej

jest to efektem wspomianej niskiej kultury patentowania w naszym kraju. Jediną technologią, w której Polska zbliża się do średniej w tej kategorii jest internet rzeczy (*internet of things*).

III.4. Trendy we wnioskach i projektach w NCBR

- Średnio co czwarty złożony wniosek, którego tematyka jest związana z Przemysłem 4.0, otrzymuje w NCBR dofinansowanie.
- Sztuczna inteligencja i procesy automatyzacji/robotyzacji to najpopularniejsze zagadnienia pojawiające się we wnioskach z obszaru Przemysłu 4.0.
- Wnioski tematycznie związane z Przemysłem 4.0 najczęściej składane są w ramach konkursów tzw. Szybkiej Ścieżki (POIR).
- Przedsiębiorcy częściej niż jednostki naukowe składają wnioski i realizują projekty z obszaru Przemysłu 4.0. Najwięcej beneficjentów realizuje projekty w województwie mazowieckim, małopolskim i śląskim.
- 41% beneficjentów ma strategię działalności (formalne lub nieformalne), które uwzględniają kwestie cyfryzacji i automatyzacji.

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju jest rządową agencją wykonawczą, która oferuje przedsiębiorcom i jednostkom naukowym wsparcie finansowe w realizacji projektów B+R, ukierunkowanych na wprowadzenie na rynek innowacyjnych technologii, produktów i usług. NCBR ma w ofercie programowej konkursy finansowane ze środków pochodzących z Funduszy Europejskich, krajowych czy z instrumentów międzynarodowych. Niniejsza analiza ma na celu zdiagnozowanie skali zapotrzebowania i faktycznej realizacji projektów badawczych z obszaru Przemysłu 4.0 ze środków NCBR. Analizą zostały objęte wnioski i projekty złożone i dofinansowane przez NCBR w latach 2015–2022, w streszczeniach których zidentyfikowano jedno lub więcej słów kluczowych charakterystycznych dla obszaru Przemysłu 4.0.

Podobnie jak w poprzednich częściach, analizę przeprowadzono z wykorzystaniem słów kluczowych. Zawęży ona wyniki w porówna-

niu do analizy z wykorzystaniem klasyfikacji Krajowych Inteligentnych Specjalizacji (KIS). Wnioski złożone do NCBR przypisane do KIS *Inteligentne sieci i technologie informacyjno-komunikacyjne oraz geoinformacyjne* stanowiły 16,7% wszystkich złożonych w ramach POIR w latach 2015–2021, a w KIS *Automatyzacja i robotyka procesów technologicznych* – 10,2%. Podobny odsetek stanowiły wnioski, które otrzymały dofinansowanie (odpowiednio 15% i 12%)¹⁸.

Złożone wnioski i projekty dofinansowane przez NCBR

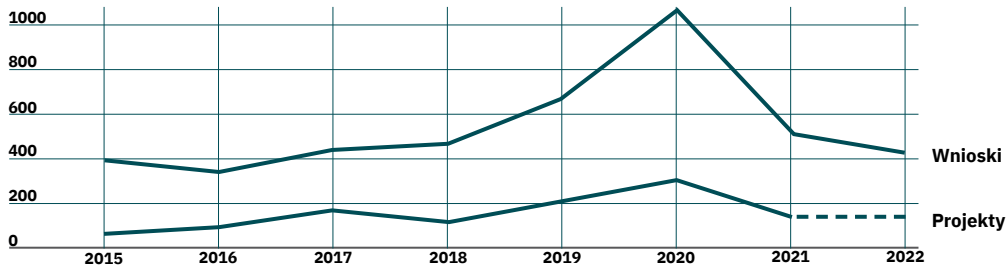
W latach 2015–2022 potencjalni beneficjenci złożyli w sumie 4233¹⁹ wnioski z obszaru Przemysłu 4.0, z czego dofinansowanie otrzymał średnio co czwarty projekt (981). W tak definiowane projekty tematyczne inwestycje zadeklarowały również fundusze *venture capital* w ramach programów BRIdge. Finansowanie otrzymało 18 takich funduszy spośród 53 złożonych wniosków.

¹⁸ Dane do października 2021 roku. *Przemysł 4.0 w projektach NCBR – analiza* (niepublikowana analiza wewnętrzna z 15 października 2021 roku).

¹⁹ Stanowiły one 23,5% z wszystkich 18 019 wniosków złożonych w latach 2015–2018 w NCBR oraz w latach 2019–2022 przez system LSI. Status wniosku został zweryfikowany z pomocą tzw. superbazy, czyli bazy wszystkich umów realizowanych lub zrealizowanych przez NCBR. Zakres analizowanych wniosków wynika z ograniczeń bazodanowych i rozproszonych źródeł danych NCBR.

Rysunek 18. Wnioski i projekty NCBR z obszaru Przemysłu 4.0 złożone i dofinansowane w latach 2015–2022

Wnioski i projekty NCBR z obszaru Przemysłu 4.0 w latach 2015-2022



Źródło: obliczenia własne

Najwięcej wniosków złożono w 2020 roku (1072); adekwatnie w tym samym roku najwięcej z nich otrzymało dofinansowanie (295). Z kolei najwyższy wskaźnik sukcesu, czyli odsetek wniosków, które uzyskały dofinansowanie, przypadł na rok 2017. Wówczas aż 35% wniosków z obszaru wskazanych technologii Przemysłu 4.0 pozyskało środki na realizację.

Biorąc pod uwagę analizowany okres (lata 2015–2022), najwięcej złożonych wniosków

dotyczyło obszaru sztucznej inteligencji (1641), a niewiele mniej obejmowało automatyzację/robotyzację (1556). Technologie te z kolei zamieniły się miejscami w liczbie ostatecznie realizowanych projektów. Najwięcej projektów dofinansowanych w ramach Przemysłu 4.0 koncentrowało się na procesach robotyzacji. Wnioski z obszaru robotyzacji miały także najwyższy wskaźnik sukcesu (27%); zaraz za nimi uplasowały się wnioski z zakresu przetwarzania brzegowego (26%) i rzeczywistości rozszerzonej (25%).

Rysunek 19. Wnioski i projekty NCBR złożone i realizowane w podziale na technologie Przemysłu 4.0

Liczba wniosków i projektów NCBR

w ramach technologii Przemysłu 4.0

Technologia	Wnioski	Projekty	Wskaźnik sukcesu (%)
Sztuczna inteligencja	1641	312	19
Robotyka	1556	419	27
Uczenie maszynowe	1097	251	23
Druk 3D	313	68	22
Big data	294	44	15
Internet rzeczy	273	62	23
Rzeczywistość wirtualna	137	28	20
Rozszerzona rzeczywistość	133	33	25
Blockchain	132	29	22
Cyfrowy bliźniak	49	8	16
Przetwarzanie chmurowe	44	8	18
Przetwarzanie brzegowe	35	9	26

Źródło: obliczenia własne

Większość wniosków (72%) reprezentujących technologie Przemysłu 4.0 zostało złożonych w ramach różnych edycji konkursów **Szybkiej Ścieżki** (POIR 1.1.1). Na podium – choć daleko za liderem – znalazły się projekty składane w ramach kolejnych edycji programu skierowanego do młodych naukowców – LIDER (6%) i programów sektorowych (5%). Tematyka związana z Przemysłem 4.0 pojawia się także w ramach innych konkursów, ale z niższą częstotliwością.

Z kolei 74% projektów z obszaru Przemysłu 4.0 jest lub było realizowanych w ramach konkursów Szybkiej Ścieżki, a co dziesiąty

w ramach programów sektorowych. Beneficjenci programu LIDER realizują 4% wszystkich projektów z ww. obszaru. Najwięcej wniosków zostało złożonych, a kolejno realizowanych jako projekty w ramach konkursu **Szybka Ścieżka 1/1.1.1/2021**.

75% wniosków i projektów NCBR z obszaru Przemysłu 4.0 zgodnie z klasyfikacją dyscyplin i dziedzin naukowych według OECD plasuje się w obszarze nauk inżynieryjnych i technicznych, a co 10 projekt wywodzi się z nauk przyrodniczych. Biorąc pod uwagę bardziej szczegółową kategoryzację, tematyka praktycznie co czwartego wniosku dotyczy systemów automatyzacji i kontroli (w klasyfikacji 2.2.c).

Rysunek 20. Wnioski i projekty z obszaru Przemysłu 4.0 w NCBR według klasyfikacji dziedzin nauki i techniki OECD

Wnioski i projekty według klasyfikacji dziedzin nauki i techniki (OECD)

	Wnioski	Projekty
Nauki inżynieryjne i techniczne	3139	738
Nauki przyrodnicze	542	131
Nauki medyczne i o zdrowiu	265	56
Nauki społeczne	142	22
Nauki rolnicze	66	12
Nauki humanistyczne	10	4
Brak przyporządkowania	69	8

Źródło: obliczenia własne

Wnioskodawcy i beneficjenci

W zdecydowanej większości wniosków (88%) liderami projektu są przedsiębiorstwa (12% to jednostki naukowe). Wśród wniosków dofinansowanych dysproporcja jest jeszcze większa – wynosi ona 91% do 9% na korzyść przedsiębiorstw. Jednostki naukowe są mniej skuteczne w pozyskiwaniu środków na projekty tematyczne Przemysłu 4.0. Co czwarty (24%) wniosek składany przez przedsiębiorstwo otrzymuje dofinansowanie, a w przypadku jednostek naukowych co piąty (18%). Nie-

mniej w liczbie wniosków o dofinansowanie przypadających na jeden podmiot/instytucję prym wiodą uczelnie techniczne. W grupie liderów znajdują się: Politechnika Warszawska, Akademia Górniczo-Hutnicza oraz Politechnika Wrocławska. Wszystkie te jednostki złożyły w analizowanym okresie ponad 30 wniosków z tego obszaru, a sama Politechnika Warszawska – blisko 50. Pierwszy podmiot niebędący uczelnią uplasował się dopiero na dziesiątym miejscu w rankingu wnioskodawców.

Rysunek 21. Ranking wnioskodawców z największą liczbą wniosków z obszaru Przemysłu 4.0 złożonych do NCBR

Wnioskodawcy z największą liczbą wniosków z obszaru Przemysłu 4.0

Nazwa	Wnioski	Projekty	Wskaźnik sukcesu (%)
Politechnika Warszawska	48	7	15
Akademia Górniczo-Hutnicza	39	8	21
Politechnika Wrocławska	33	5	15
Politechnika Gdańska	27	3	11
Politechnika Łódzka	26	8	31
Politechnika Krakowska	22	6	27
Politechnika Śląska	20	2	10
Politechnika Świętokrzyska	17	4	24
Politechnika Poznańska	16	6	38
Techmo sp. z o.o.	10	2	20
Uniwersytet Jagielloński	10	1	10
Uniwersytet Warszawski	9	3	33
Atmat sp. z o.o.	9	2	22
Snarto sp. z o.o.	9	1	11
Ardigen SA	8	3	38
Pivotal sp. z o.o.	8	2	25
Wizard Forms sp. z o.o.	8	2	25
Cancer Center sp. z o.o.	8	1	13
SIM Factor sp. z o.o.	7	6	86
Giełda Papierów Wartościowych w Warszawie SA	7	4	57

Źródło: obliczenia własne

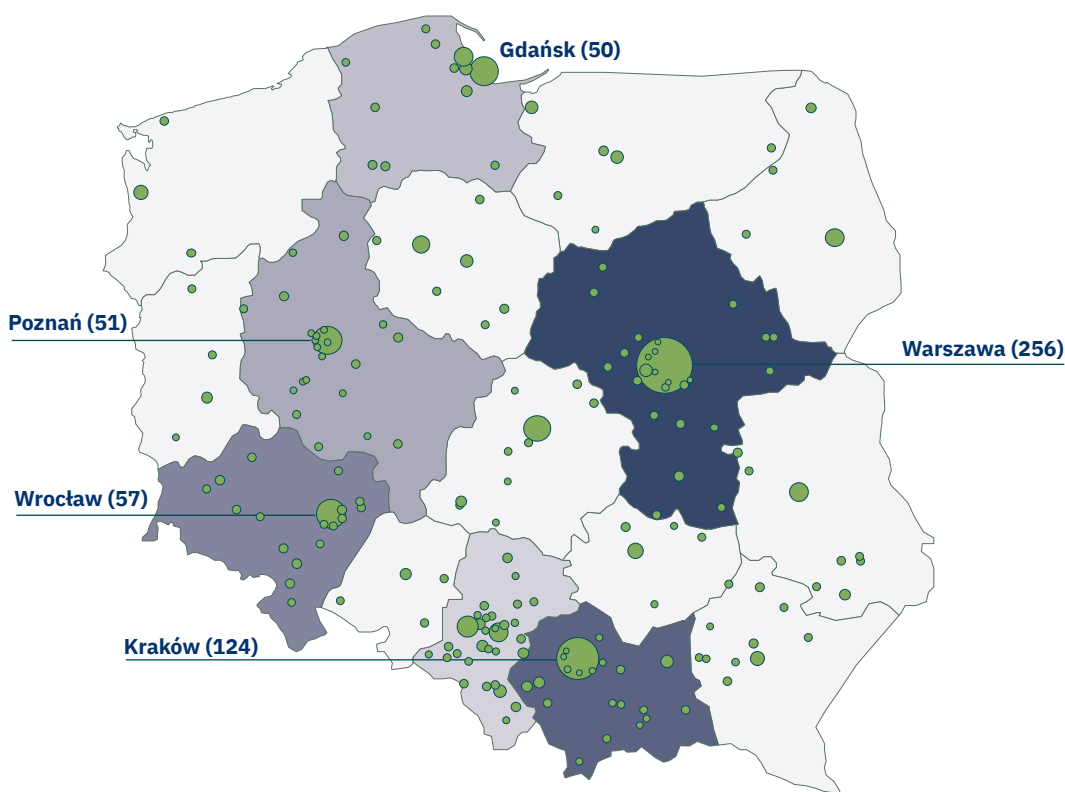
W przypadku projektów dofinansowanych (beneficjentów), przedsiębiorców w czołówce podmiotów realizujących projekty z zakresu Przemysłu 4.0 jest więcej. Pierwszy przedsiębiorca – SIM Factor sp. z o.o. z Krakowa – uplasował się ze swoimi projektami na piątym miejscu. Jest on jednocześnie bardzo skuteczny w pozyskiwaniu dofinansowania na projekty z obszaru

Przemysłu 4.0 (wskaźnik sukcesu – 86%). Pierwsze cztery pozycje należą do uczelni technicznych. Spośród czołówki podmiotów realizujących najwięcej projektów technologicznych dla Przemysłu 4.0, najbardziej skutecznymi jednostkami naukowymi są Politechnika Poznańska i Politechnika Łódzka, jednak ich skuteczność w pozyskiwaniu dofinansowania nie przekracza 40%.

Rysunek 22. Lokalizacja projektów z zakresu technologii Przemysłu 4.0 według siedziby beneficjenta

Rozkład geograficzny projektów z zakresu Przemysłu 4.0

dofinansowanych przez NCBR w latach 2015-2022



Źródło: obliczenia własne

Najwięcej projektów z obszaru Przemysłu 4.0 jest realizowanych przez beneficjentów z województwa mazowieckiego (co trzeci), małopolskiego (17%) i śląskiego (10%), najmniej natomiast w województwach opolskim i lubuskim (po 6%). Bene-

ficjenci na ogół są zlokalizowani w i wokół dużych ośrodków miejskich: w Warszawie (256 projektów), Krakowie (124), Wrocławiu (57), Poznaniu (51), Gdańsku (50). Częściowo wynika to także z faktu, że wymienione miasta są także dużymi ośro-

kami akademickimi. Wielu beneficjentów zlokalizowanych jest także w mniejszych ośrodkach, szczególnie wzdłuż korytarzy transportowych (por. rys. 22).

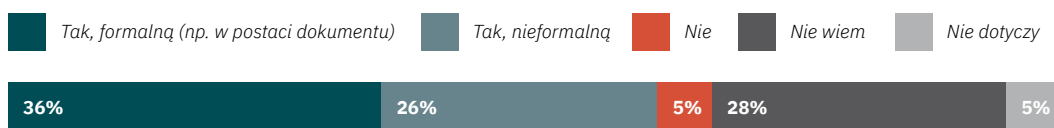
Przemysł 4.0 a strategie beneficjentów

W ramach cyklicznego badania satysfakcji przeprowadzanego wśród wszystkich

beneficjentów NCBR, w ostatniej edycji z 2022 roku do ankiety dołączono pytania dotyczące strategii podmiotów. Dotyczyły one posiadania strategii oraz uwzględnienia w niej możliwości wprowadzenia rozwiązań cyfrowych lub automatyzujących procesy. Odpowiedzi udzieliło 1020 kierowników projektów B+R.

Rysunek 23. Odpowiedzi na pytanie dotyczące strategii

Czy Pani/Pana jednostka posiada strategię działalności, w którą wpisują się prowadzone prace B+R?



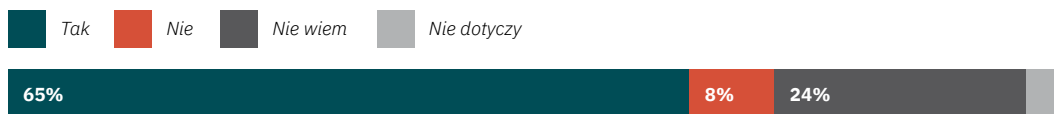
Źródło: obliczenia własne, CAWI – ankieta satysfakcji beneficjenta, n=1020

Ankieta wskazała, że 62% beneficjentów posiada strategię (formalną lub nieformalną²⁰), w którą wpisują się prace B+R. 10% beneficjentów takiej strategii nie posiada (w tym 5% zaznaczyło, że nie dotyczy – choć wcale nie musi być ona wymogiem). Więcej niż ¼ respondentów nie dysponowała precyzyjnymi informacjami o strategii w swojej jednostce. Wyniki te różniły się w zależności od miejsca zatrudnienia lidera projektu. Szczególnie dotyczyło to wiedzy o strategii: tylko 18% zatrudnionych w przedsiębiorstwach udzieliło odpowiedzi „nie wiem”,

podczas gdy w przypadku uczelni było to blisko 40%, a w przypadku instytutów badawczych – 32%. Największa różnica występuje jednak w odniesieniu do strategii nieformalnej, gdzie posiadanie takiej deklaruje 42% przedstawicieli przedsiębiorstw, podczas gdy uczelni – 9%. Oznacza to, że informacje o strategii mają większe znaczenie dla kierowania projektami B+R w przypadku przedsiębiorstw, a mniejsze w przypadku uczelni, szczególnie dużych, gdzie strategie najczęściej opracowywane są na szczeblu centralnym.

Rysunek 24. Odpowiedzi na pytanie dotyczące uwzględnienia w strategii jednostki elementów cyfryzacji i automatyzacji

Czy strategia (formalna lub nieformalna) uwzględnia wprowadzenie rozwiązań cyfrowych lub automatyzujących procesy?



Źródło: obliczenia własne, CAWI – ankieta satysfakcji beneficjenta, n=639

Spośród tych, którzy wskazali na istnienie strategii, blisko 2/3 zadeklarowało, że uwzględnia ona wprowadzanie rozwiązań cy-

frowych lub automatyzujących procesy. Tylko 8% wskazało, że strategia takich zagadnień nie uwzględnia. W tej kategorii także były

²⁰ Strategia może być formalna, czyli ujęta w formie dokumentu zawierającego cele i kierunki działalności. W praktyce może być także nieformalna i pozostawać w formule deklaracji – wiemy, gdzie dążymy i w którym miejscu chcemy być.

widoczne różnice pomiędzy jednostkami naukowymi a przedsiębiorstwami. Odpowiedź pozytywną wskazało 75% przedstawicieli przedsiębiorstw i 58% przedstawicieli uczelni, podczas gdy odpowiedź „nie wiem” – odpowiednio 13% i 37%. Niższy odsetek odpowiedzi wśród uczelni – co można wnioskować na podstawie przeprowadzonych wywiadów – może wynikać z mniej powszechnej wiedzy wśród szeregowych pracowników na temat kierunku, w którym podąża organizacja.

Wyniki ankiety wskazują, że nawet wśród przedsiębiorstw będących beneficjentami, czyli w dużym uproszczeniu podmiotów innowacyjnych, 41% respondentów ma w swojej strategii (formalnej lub nieformalnej) elementy dotyczące cyfryzacji lub automatyzacji.

Z drugiej strony eksperci pracujący z przedsiębiorstwami wskazywali na ogólny brak kompleksowych strategii dotyczących

wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0, a także brak świadomości polskich menedżerów w tym zakresie. Kompleksowość strategii przedsiębiorstw wobec czwartej rewolucji przemysłowej była także przedmiotem globalnego badania Deloitte *Czwarta rewolucja przemysłowa: gotowi i odpowiedzialni*. Zgodnie z nim tylko 10% badanych organizacji ma kompleksowe strategie dotyczące Przemysłu 4.0. Dwie trzecie z ponad 2000 ankietowanych menedżerów z 19 krajów wskazywało, że nie posiada takich strategii formalnych lub przyjmuje podejścia doraźne. Zdaniem autorów badania świadczy to o tym, że liderzy często nie doceniają korzyści, jakie mogą płynąć z wprowadzania rozwiązań Przemysłu 4.0 (Deloitte, 2020). Wyniki badania NCBR pozornie wypadają lepiej – 36% ankietowanych deklaruje posiadanie formalnych zapisów dotyczących automatyzacji i robotyzacji, ale trzeba zastrzec, że strategie te nie musiały być kompleksowe.

IV. Polityka naukowo-techniczna i innowacyjna wobec Przemysłu 4.0

Ostatnia część poświęcona jest roli państwa we wsparciu rozwoju technologii Przemysłu 4.0. Pokazane są różne poziomy tego zaangażowania: od najbardziej ogólnego, czyli dokumentów strategicznych po konkretne instrumenty, z których mogą korzystać podmioty. Nałożony na to został także podział na rozwiązania europejskie lub funkcjonujące w innych krajach oraz na rodzimym gruncie.

IV.1. Przemysł 4.0 w dokumentach strategicznych

- W latach 2020–2021 Komisja Europejska opublikowała szereg dokumentów o charakterze strategicznym, ustanawiających długofalowe kierunki rozwoju i transformacji Europy. Są w nich wskazane konkretne technologie Przemysłu 4.0, spośród których najczęściej wymieniana jest sztuczna inteligencja.
- W politykach krajowych (krajów UE i Wielkiej Brytanii) nakierowanych na rozwój Przemysłu 4.0 wsparcie w największej mierze koncentruje się na obszarach technologii ICT, technologii Przemysłu 4.0 oraz małych i średnich przedsiębiorstwach.
- W polskim systemie zarządzania rozwojem kraju najbardziej istotnymi dokumentami dla Przemysłu 4.0 są Strategia Odpowiedzialnego Rozwoju oraz Strategia Produktywności 2030.

Dokumenty strategiczne Unii Europejskiej

W latach 2020–2021 opublikowano szereg dokumentów o charakterze strategicznym, w których można znaleźć odniesienia przede wszystkim do transformacji cyfrowej oraz technologii Przemysłu 4.0. Najważniejszymi dokumentami z tego punktu widzenia są *Cyfrowa dekada Europy*, oraz *Kształtowanie cyfrowej przyszłości Europy*, a także europejska strategia w zakresie danych. Jako oś zmian w dokumentach wyróżnia się tzw. dwojaką transformację – ekologiczną i cyfrową, która ma prowadzić

do neutralności klimatycznej i przywództwa cyfrowego. Ten termin pojawia się także w aktualizacji nowej strategii przemysłowej dla Europy. Dokumenty dotyczące nowej przestrzeni badawczej i innowacji – istotne dla kierunku polityki naukowo-technicznej UE – oraz plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym (który jest częścią Europejskiego Zielonego Ładu) mają charakter kontekstowy dla rozwoju technologii. Podobny charakter ma związany z odbudową europejskiej gospodarki po pandemii COVID-19 dokument NextGenerationEU.

Najczęściej wskazywaną technologią Przemysłu 4.0. jest sztuczna inteligencja. Poza nią pojawiają się także przetwarzanie chmurowe, *blockchain* i przetwarzanie brzegowe. W dokumentacji jako istotne wskazuje się także technologie przesyłu danych (zwłaszcza za pomocą sieci 5G). Wszystkie te dokumenty stanowią podstawę do dalszych działań Unii Europejskiej, które mogą mieć wpływ na rozwój technologii Przemysłu 4.0.

Tabela 10. Najważniejsze unijne dokumenty strategiczne dotyczące tematyki obejmowanej przez Przemysł 4.0

Nazwa dokumentu	Rok powstania	Wybrane obszary/cele	Informacje dodatkowe
<i>Cyfrowa dekada Europy</i>	2021	<ul style="list-style-type: none"> ■ Transformacja cyfrowa przedsiębiorstw ■ Bezpieczna i zrównoważona infrastruktura cyfrowa ■ Cyfryzacja usług publicznych 	W zakładanych celach jest bezpośrednie nawiązanie do technologii Przemysłu 4.0. Między innymi w zakresie wykorzystania technologii przyjęto założenie, że 75% przedsiębiorstw w UE powinno korzystać z rozwiązań chmurowych, sztucznej inteligencji oraz dużych zbiorów danych (<i>big data</i>).
<i>Kształtowanie cyfrowej przyszłości Europy</i>	2020	<ul style="list-style-type: none"> ■ Technologia, która działa na rzecz ludzi ■ Sprawiedliwa i konkurencyjna gospodarka cyfrowa ■ Otwarte, demokratyczne i zrównoważone społeczeństwo 	Przewidywanych jest szereg działań odnoszących się do technologii Przemysłu 4.0, np. przygotowanie ram prawnych dla funkcjonowania sztucznej inteligencji; budowanie i wdrażanie zdolności cyfrowych w obszarach sztucznej inteligencji, obliczeń kwantowych, komunikacji kwantowej i <i>blockchain</i> ; przyspieszenie wprowadzenia ultraszybkich sieci szerokopasmowych; powołanie wspólnej jednostki cyberbezpieczeństwa.
<i>Europejska strategia w zakresie danych</i>	2020	Stworzenie jednolitego rynku danych, który zapewni globalną konkurencyjność Europy i suwerenność w zakresie danych	W strategii są odwołania do technologii Przemysłu 4.0, takich jak sztuczna inteligencja, cyfrowy bliźniak czy przetwarzanie danych w chmurze na brzegu sieci. Strategia obejmuje udostępnianie i wykorzystywanie danych prywatnych przez inne przedsiębiorstwa: interoperacyjność i jakość danych, a także strukturę, autentyczność i integralność w kontekście wdrażania sztucznej inteligencji (AI). Działania sformułowane w strategii obejmują m.in. uruchomienie europejskiego rynku usług w chmurze oraz stworzenie przepisów dotyczących chmury obliczeniowej. Komisja będzie również wspierać utworzenie dziewięciu wspólnych europejskich przestrzeni danych (m.in. przemysłowej, rolnictwa, mobilności, finansowej).
<i>Nowa strategia przemysłowa dla Europy</i>	2020 (2021 – aktualizacja)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Odporność jednolitego rynku ■ Zwiększenie otwartej strategicznej autonomii UE ■ Przyspieszenie podwójnej transformacji 	Strategia m.in. akcentuje potrzebę uzasadnienia biznesowego dla zielonej i cyfrowej transformacji. W dokumencie wspomniano o powołaniu Alliance for Industrial Data, Edge and Cloud, co powinno wzmocnić rolę Europy na globalnym rynku przetwarzania chmurowego i brzegowego. W strategii wspomniano także o powołaniu instrumentu strategicznego IPCEI (<i>Important Projects of Common European Interest</i>). Celem instrumentu jest realizacja w ramach europejskich konsorcjów projektów B+R oraz wdrożeniowych (FID – <i>first industrial deployment</i>) na rzecz przetwarzania chmurowego i półprzewodników. Aktualizacja strategii była odpowiedzią na wyzwania związane z pandemią COVID-19.

<i>NextGenerationEU</i>	2020	Pogłębiony i bardziej cyfrowy jednolity rynek	Jednym z elementów dokumentu jest odbudowa (w zakresie pogłębionego i bardziej cyfrowego jednolitego rynku). Na odbudowę cyfrową będą się składać cztery elementy, w tym bardziej powszechna łączność (wskazana jest sieć 5G), silniejsza obecność przemysłowa w cyfrowych łańcuchach dostaw, gospodarka oparta o dane, a także koncentracja na cyfrowych możliwościach i zdolnościach o strategicznym znaczeniu (w tym na technologiach takich jak AI, <i>blockchain</i> czy sieci 5G i 6G). Proponowane są także działania na rzecz poprawy cyberbezpieczeństwa w UE. Komisja w dokumencie proponuje nowy Instrument na rzecz Inwestycji Strategicznych, mający wspomóc dwojaką transformację (w tym cyfrową). Zapowiedziano przedstawienie zaktualizowanego planu działania w dziedzinie edukacji cyfrowej.
<i>Nowa europejska przestrzeń badawcza na rzecz badań naukowych i innowacji</i>	2020	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nadawanie priorytetu inwestycjom i reformom ■ Zwiększenie dostępu do warunków sprzyjających osiągnięciu doskonałości ■ Wdrażanie wyników badań naukowych i innowacji w gospodarce: pogłębienie Europejskiej Przestrzeni Badawczej (Cele strategiczne)	Koordynacja starań na rzecz inwestycji w B+R+I ma nastąpić m.in. poprzez wsparcie priorytetów dwojakiej transformacji. W dokumencie wskazano też, że Komisja, we współpracy z państwami członkowskimi i zainteresowanymi stronami, będzie wspierać realizację nowej strategii przemysłowej poprzez opracowanie z nimi wspólnych planów działania w zakresie technologii przemysłowych do końca 2022 r. w celu dostosowania kluczowych partnerstw w ramach programu Horyzont Europa do ekosystemów przemysłowych. W zakresie infrastruktury badawczej wskazano, że bardzo szybka łączność stanie się składową wykorzystania cyfrowych, bliźniaczych modeli rzeczywistości, z narzędziami decyzyjnymi działającymi w czasie niemal rzeczywistym, opartymi na dowodach naukowych.
<i>Nowy plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym na rzecz czystszej i bardziej konkurencyjnej Europy</i>	2020	Przyspieszenie zmiany transformacyjnej wymaganej przez Europejski Zielony Ład, przy jednoczesnym wykorzystaniu działań w zakresie gospodarki o obiegu zamkniętym	W dokumencie zapisano m.in. propagowanie wykorzystania technologii cyfrowych do śledzenia, ustalania pochodzenia i mapowania zasobów oraz propagowanie wykorzystania zielonych technologii w ramach systemu solidnej weryfikacji poprzez zarejestrowanie unijnego systemu weryfikacji technologii środowiskowych jako unijnego znaku certyfikującego.

Źródło: opracowanie własne

Z kolei prognoza strategiczna Komisji Europejskiej z 2022 r., dotycząca powiązania transformacji ekologicznej i cyfrowej w nowym kontekście geopolitycznym, wskazuje na konkretne zastosowania technologii tzw. dwojakiej transformacji (zielonej i cyfrowej) w przemyśle, energetyce, budownictwie, transporcie i rolnictwie (KE, 2022). Choć, podobnie jak w poprzednich dokumentach, nie pojawia się wprost sformułowanie „Przemysł 4.0”, to transforma-

cja cyfrowa jest w dużym stopniu z tym pojęciem tożsama.

Także w celach strategicznych, jakie wyznaczyła Komisja Europejska do 2024 roku, można znaleźć odwołania do technologii Przemysłu 4.0., szczególnie w kluczowych technologiach wspomagających, tzw. KET (*key enabling technologies*). W ramach wskazanych przez Komisję technologii znajduje się sztuczna inteligencja,

zawansowane wytwarzanie (obejmujące m.in. robotykę, druk 3D, a także bezpieczeństwo i łączność.

Kierunki polityk wspierania Przemysłu 4.0 w UE i w Wielkiej Brytanii

Oprócz dokumentów na szczeblu europejskim, polityki są definiowane także na szczeblu krajowym. Działania stymulujące rozwój Przemysłu 4.0 koncentrują się wokół definiowania obszarów wymagających interwencji,

sposobów wdrażania określonych rozwiązań technologicznych i metod zarządzania, rozwoju infrastruktury oraz kompetencji pracowników odpowiedzialnych za rozwój Przemysłu 4.0, a także wdrażania i rozwoju programów determinujących wzrost innowacyjności poszczególnych obszarów gospodarki. Oprócz tego dotyczą zmian zasad działania krajowej gospodarki, norm i regulacji prawnych. Koncentrują się także na wybranych sektorach przemysłowych.

Tabela 11. Główne osie polityki Przemysłu 4.0 przyjęte w krajach UE i w Wielkiej Brytanii

Kraj	Obszary strategiczne i zaplanowanie działania operacyjne
Austria	Zdefiniowano sześć tematycznych grup roboczych: normy i standardy; badania, rozwój i innowacje; kwalifikacje i umiejętności dla Przemysłu 4.0; strategie regionalne; cztowiek w cyfrowej fabryce; inteligentna logistyka.
Belgia	Głównym celem jest obniżenie kosztów produkcji poprzez m.in. digitalizację procesów operacyjnych, dalszą integrację systemów cyberfizycznych, a także podnoszenie kwalifikacji siły roboczej i obniżanie zużycia energii.
Cypr	Holistyczna strategia obejmuje rozwój infrastruktury teleinformatycznej, cyfryzację sektora publicznego oraz podnoszenie umiejętności cyfrowych (e-umiejętności), a także rozwój przedsiębiorczości cyfrowej.
Czechy	Nacisk położony jest na budowę infrastruktury teleinformatycznej, adaptację systemu edukacji, wprowadzenie nowych narzędzi na rynek pracy, adaptację otoczenia społecznego i pomoc fiskalną dla firm związaną z wprowadzaniem nowych technologii i <i>know-how</i> .
Dania	Główny nacisk położony jest na firmy, uczelnie i organizacje dążące do zwiększenia swoich możliwości i wzmocnienia ekosystemu produkcyjnego. Tematyka badań i innowacji MADE koncentruje się na opracowywaniu i wdrażaniu zaawansowanych rozwiązań produkcyjnych i Przemysłu 4.0 w sektorze produkcyjnym.
Estonia	Ambicją jest stworzenie środowiska, które ułatwia korzystanie z technologii ICT oraz rozwój inteligentnych rozwiązań w przedsiębiorstwach.
Finlandia	Skoncentrowano się na technologiach ICT oraz cyfryzacji usług publicznych. Dzięki nowym praktykom operacyjnym usługi publiczne powinny stać się zorientowane na użytkownika, a przede wszystkim cyfrowe. W ramach działań powinny zostać ustanowione również zasady cyfryzacji wszystkich usług publicznych oraz kompleksowy system obsługi i przepisy dotyczące zarządzania informacjami.
Francja	Program opiera się na pięciu filarach: ofertach technologicznych, transformacji biznesowej, szkoleniach, współpracy międzynarodowej i promocji. Skoncentrowano się na nowych i powstających technologiach (takich jak produkcja addytywna, IoT, nowe materiały, obliczenia o wysokiej wydajności, inteligentne obiekty i sztuczna inteligencja – AI).
Niemcy	Działania skupiają się na innowacjach cyfrowych i rynku ICT. Planowana jest transformacja modeli biznesowych i dostarczanie produktów/usług, badania i rozwój w zakresie IoT i integracji systemów, a także edukacja i szkolenie zawodowe.
Grecja	Skoncentrowano się na siedmiu obszarach, z których dwa dotyczą cyfryzacji gospodarki i przemysłu (obszar 2: Przyspieszenie cyfryzacji gospodarki, obszar 3: Promowanie branży ICT w celu rozwoju gospodarki cyfrowej i zatrudnienia).

Węgry	Podjęta została inicjatywa oparta na najnowszej strategii reindustrializacji Ministerstwa Gospodarki Narodowej Węgier. Wdraża się elementy gospodarki opartej na wiedzy sektorowych strategii przemysłowych.
Włochy	Postawiono na pełne wykorzystanie możliwości związanych z czwartą rewolucją przemysłową, a także promowanie inwestycji w zakresie innowacji, wartości niematerialnych i prawnych oraz badań i rozwoju, przy rozpowszechnieniu kultury związanej z Przemysłem 4.0 i rozwijaniu umiejętności.
Irlandia	Powstała wizja oraz szereg praktycznych działań i kroków mających na celu zachęcenie i pomoc większej liczbie obywateli i małych przedsiębiorstw w korzystaniu z internetu. Pierwsza faza koncentrowała się na biznesie i przedsiębiorstwach, szkoleniu obywateli oraz szkołach i edukacji.
Litwa	Działania koncentrują się na cyfryzacji przemysłu, nowych technologiach i standaryzacji w kluczowych strategicznych sektorach gospodarki, a także na reindustrializacji gospodarki i tworzeniu partnerstw publiczno-prywatnych przy nacisku na zaangażowanie kluczowych interesariuszy.
Luksemburg	Wielofunkcyjny udział zorganizowano w dziewięciu grupach roboczych, składających się z sześciu branżowych filarów pionowych (energetyka, mobilność, budynki, żywność, przemysł i finanse) oraz trzech osi poziomych, zajmujących się zagadnieniami ogólnogospodarczymi (znanymi jako inteligentna gospodarka – ang. <i>smart economy</i> , gospodarka o obiegu zamkniętym – ang. <i>circular economy</i> oraz prosumenci i model społeczny – ang. <i>prosumers and social model</i>).
Malta	Strategia cyfrowa oparta jest na poziomie łączności i korzystaniu z usług internetowych przez obywateli; ma miejsce koncentracja na technologiach ICT.
Holandia	Działania koncentrują się na przemyśle <i>high-tech</i> , chemicznym, rolno-spożywczym i logistycznym.
Polska	Inwestycje w innowacje oraz badania i rozwój realizowane są za pomocą nowych modeli biznesowych, przyjaznego otoczenia prawnego sprzyjającego zakładaniu nowych firm oraz przeglądu ustawodawstwa dotyczącego instytutów badawczych. Celem jest podnoszenie świadomości, budowanie kompetencji, rozwój infrastruktury, wsparcie MŚP, działania skoncentrowane na wielu sektorach przemysłu (np. sektor produkcyjny lub dostawca technologii).
Portugalia	Przemysł 4.0 wspiera rozwój umiejętności, nowych metod i zastosowań cyfrowych w sześciu strategicznych filarach (kwalifikacje, kapitał ludzki, współpraca technologiczna, uruchomienie Przemysłu 4.0, finansowanie i zachęty inwestycyjne, umiędzynarodowienie oraz normy i regulacje).
Rumunia	Działania obejmują administrację elektroniczną, interoperacyjność, bezpieczeństwo cybernetyczne, przetwarzanie w chmurze, otwarte dane, <i>big data</i> i media społecznościowe, technologie ICT (w edukacji, zdrowiu, kulturze i integracji elektronicznej), handel elektroniczny, infrastrukturę szerokopasmową i usług cyfrowych.
Słowacja	Strategia opiera się na działaniach w zakresie: poprawy świadomości i współpracy, działalności badawczo-rozwojowej, Fabryk Przyszłości, dostępu do finansowania, rynku pracy, edukacji i umiejętności, dostosowaniu ram prawnych zachęcających do innowacji.
Słowenia	Strategia określa kluczowe strategiczne cele rozwoju w zakresie Przemysłu 4.0 i połączenie planu rozwoju sieci szerokopasmowych nowej generacji. Działania koncentrują się także na strategii bezpieczeństwa cybernetycznego ujętej w ujednoczonych ramach strategicznych.
Hiszpania	Działania koncentrują się na wspieraniu realizacji projektów transformacji cyfrowej poprzez wsparcie MŚP i mikroprzedsiębiorstw (głównie z sektora przemysłowego).
Szwecja	Działania skupiają się na różnych obszarach tematycznych, z głównym celem w postaci wspierania wdrażania innowacyjnych technologii i zaawansowanych praktyk produkcyjnych w przedsiębiorstwach oraz poprawy edukacji produkcyjnej.
Wielka Brytania	Celem jest usprawnienie procesów wdrażania innowacyjności oraz komercjalizacji, a działania koncentrują się na wielu sektorach przemysłu i 27 kluczowych dla gospodarki obszarach technologicznych.

Źródło: opracowanie własne na podstawie <https://ati.ec.europa.eu/reports/Policy-Briefs>

Polityki krajowe można opisać poprzez koncentrację na sześciu niezależnych obszarach działań wzmacniających rozwój Przemysłu 4.0. W największym stopniu skupiają się one na technologiach ICT,

pozostałych technologiach Przemysłu 4.0 oraz na wsparciu MSP, w trochę mniejszym – na rozwoju, innowacjach i edukacji, a w najmniejszym – na uregulowaniach prawnych.

Tabela 12. Obszary koncentracji strategii państw UE wzmacniających potencjał Przemysłu 4.0

obszar	Austria	Belgia	Cypr	Czechy	Niemcy	Dania	Estonia	Hiszpania	Finlandia	Francja	Grecja	Węgry	Irlandia	Włochy	Litwa	Luksemburg	Malta	Holandia	Polska	Portugalia	Rumunia	Szwecja	Słowenia	Słowacja	Wielka Brytania	
Technologie ICT																										
Rozwój i innowacje																										
MŚP																										
Technologie Przemysłu 4.0																										
Edukacja																										
Uregulowania prawne																										

Źródło: opracowanie własne na podstawie <https://ati.ec.europa.eu/reports/Policy-Briefs>

Warto jednak zaznaczyć, że koncentracja wyłącznie na technologiach oraz rozwiązaniach technicznych nie jest dobrym rozwiązaniem, szczególnie w obszarach zaawansowanych technologii produkcyjnych wymagających bezpośredniego udziału człowieka. W zakresie Przemysłu 4.0 można wyodrębnić wiele barier implementacyjnych, w tym typowo ekonomicznych, ale także związanych z wiedzą oraz o charakterze świadomościowym lub kulturowym.

Kolejnym ważnym aspektem jest przyjęta metoda kreowania oraz wdrażania polityk rozwojowych Przemysłu 4.0. Dominującym podejściem stosowanym w większości analizowanych państw jest podejście oddolne (*bottom-up*). W podejściu tym tworzenie

strategii wdrażania rozpoczyna się od grup docelowych i interesariuszy, którzy mają wpływ na ostateczny kształt krajowej polityki czy programu²¹. W dużym stopniu brane są pod uwagę uwarunkowania podmiotów, na które wpływa polityka. Metoda odgórna (*top-down*) oparta jest na hierarchii zarządzania oraz hierarchii celów wyznaczanych przez administrację.

Polskie dokumenty strategiczne w kontekście rozwoju Przemysłu 4.0

W systemie zarządzania rozwojem kraju podstawowymi dokumentami odnoszącymi się do są kwestii technologicznych są: średniookresowa strategia rozwoju kraju (Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju) oraz

21 Nota bene: NCBR stosuje obydwa podejścia do tworzenia programów wsparcia.

jedna z dziewięciu strategii zintegrowanych (Strategia Produktywności 2030). Przyjęta w 2022 roku Polityka Naukowa Państwa odnosi się do kwestii technologicznych

i badań naukowych w tym zakresie. Z kolei kwestie dotyczące B+R w zakresie cyberbezpieczeństwa znajdują się w Strategii Cyberbezpieczeństwa RP na lata 2019–2024.

Tabela 13. Podstawowe charakterystyki dokumentów systemu zarządzania rozwojem kraju odnoszące się do zagadnień Przemysłu 4.0

Nazwa dokumentu	Okres obowiązywania	Wybrane obszary/cele	Informacje dodatkowe
<i>Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju</i>	2017–2030	Działania w obszarze Przemysłu 4.0 wpisują się w szczególności w pierwszy cel szczególony Strategii tj. trwały wzrost gospodarczy oparty coraz silniej o wiedzę, dane i doskonałość organizacyjną, który koncentruje się m.in. na reindustrializacji, rozwoju innowacyjnych firm oraz małych i średnich przedsiębiorstwach.	Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju, przyjęta przez Radę Ministrów 14 lutego 2017 roku, jest kluczowym dokumentem państwa polskiego w obszarze średnio- i długofalowej polityki gospodarczej. Jednym z założeń wskazanych w Strategii było stworzenie Platformy Przemysłu Przyszłości wspomagającej transformację cyfrową w przemyśle oraz rozwój kompetencji kadr dla przemysłu przyszłości. Zgodnie z założeniami strategii efektem podejmowanych działań na rzecz inteligentnej reindustrializacji ma być nasycenie przemysłu wysokowartościowymi usługami (B+R, wzornictwo/design, teleinformatyka) w celu zwiększenia udziału innowacyjnych produktów i wykorzystania innowacji w procesie produkcji.
<i>Strategia produktywności 2030 (wcześniej SIEG)</i>	2022–2030	Cel główny Strategii to progresywny, zrównoważony i inkluzywny wzrost produktywności oparty na wykorzystaniu wiedzy oraz nowych technologii, zwłaszcza cyfrowych. Dla rozwoju Przemysłu 4.0 szczególnie istotny jest obszar III Inwestycje i zdefiniowany w nim cel szczególony: automatyzacja, robotyzacja i cyfryzacja przedsiębiorstw.	Strategia zakłada wspieranie transformacji cyfrowej przedsiębiorstw. Przyspieszenie procesu wdrażania rozwiązań automatyzacji, robotyzacji i cyfryzacji gospodarki ma być realizowane poprzez stymulowanie popytu na rozwiązania cyfrowe poprzez działania informacyjne, edukacyjne i doradcze. Strategia definiuje zadania Platformy Przemysłu Przyszłości jako krajowego integratora i akceleratora transformacji do Przemysłu 4.0 oraz Hubów Innowacji Cyfrowych (DIH – Digital Innovation Hub), świadczących przedsiębiorcom wiedzę, ekspertyzy i technologie niezbędne do skutecznej transformacji cyfrowej. Strategia przewiduje m.in. dotacje i ulgi podatkowe na robotyzację przedsiębiorstw.

<p>Strategia Cyberbezpieczeństwa Rzeczypospolitej Polskiej</p>	<p>2019–2024</p>	<p>Głównym celem Strategii jest podniesienie poziomu odporności na cyberzagrożenia oraz poziomu ochrony informacji w sektorach: publicznym, militarnym i prywatnym.</p>	<p>W Strategii znajdują się zapisy dotyczące stymulowania badań i rozwoju w obszarze cyberbezpieczeństwa, w tym pięć kierunków planowanych programów badawczych. We wspomnianym celu wspomina się kontynuacji współpracy Ministerstwa Cyfryzacji z NCBR, m.in. w ramach programu CyberSecIdent.</p>
<p>Polityka Przemysłowa Polski</p>		<p>Dokument wyznacza pięć osi polityki przemysłowej: Cyfryzacja, Zielony Ład, Bezpieczeństwo, Lokalizacja, Społeczeństwo wysokich kompetencji.</p>	<p>Działania w osi cyfryzacji skupione są na czterech wymiarach transformacji cyfrowej, w tym na Przemysle 4.0, rozumianym jako inteligentne fabryki, automatyzacja i robotyzacja. Jako instrument wskazany jest program pilotażowy Przemysł 4.0 Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości. Dokument odnosi się także m.in. do cyberbezpieczeństwa.</p>
<p>Polityka Naukowa Państwa</p>		<p>Celem PNP jest stworzenie warunków do prowadzenia badań naukowych oraz prac rozwojowych i ułatwienie dostępu do wysokiej jakości kształcenia przyszłych pokoleń.</p>	<p>Istotną część PNP poświęcono wybranym technologiom, w tym także Przemysłu 4.0: sztucznej inteligencji i inteligentnym miastom. Wymienione jest także m.in. zastosowanie sztucznej inteligencji w medycynie i zastosowania blockchain. Fragmenty te mają charakter deskryptywny bez wskazania kierunków rozwoju.</p>

Źródło: opracowanie własne

Polskie dokumenty strategiczne nie tworzą spójnej całości i nie obejmują wszystkich obszarów z punktu widzenia Przemysłu 4.0. Najważniejszym dokumentem istotnym z punktu widzenia jego rozwoju jest Strategia Produktywności 2030. Zawiera ona jednak tylko wskazania odnośnie do systemu

aktywnej polityki naukowo-technicznej państwa (m.in. wskazana jest budowa ośrodka decyzyjnego w tym zakresie). Jeśli chodzi o kierunki tej polityki, to w pozostałych strategiach i politykach (np. Strategii Cyberbezpieczeństwa RP, Polityce Naukowej Państwa) można znaleźć tylko ich elementy.

IV.2. Przykłady zagranicznych rozwiązań wsparcia Przemysłu 4.0

- Na poziomie Unii Europejskiej głównym instrumentem wsparcia badań i innowacji również w obszarze Przemysłu 4.0 jest program ramowy Horyzont Europa z budżetem na lata 2021–2027 wynoszącym blisko 100 mld euro.
- Programy wsparcia Przemysłu 4.0 na poziomie krajowym przyjmują różne formy – od programów finansowania projektów B+R po kompleksowe wsparcie związane z transformacją w przemyśle.

W ramach programu Horyzont Europa (2021–2027) Komisja Europejska przeznaczyła 95,5 mld euro na finansowanie badań naukowych i innowacji wspierających niezbędne zmiany systemowe będące odpowiedzią na wyzwania społeczne, środowiskowe oraz geopolityczne. Dla badań i innowacji w obszarze Przemysłu 4.0 szczególnie istotny jest drugi z czterech filarów programu tj.: *Globalne wyzwania i konkurencyjność europejskiego przemysłu*, na który przeznaczono ponad połowę całego budżetu programu tj. 53,5 mld euro. W filarze tym przewidziano odrębne obszary tematyczne (klastry) dotyczące całego spektrum globalnych wyzwań. Największych możliwości wsparcia rozwoju przemysłowego i technologicznego, uwzględniającego wyzwania związane z czwartą rewolucją przemysłową i potrzebami Przemysłu 4.0, można upatrywać w klastrze 4 pn. *Technologie cyfrowe, przemysł, przestrzeń kosmiczna (digital, industry and space)*, na realizację którego przewidziano ponad 15 mld euro. W obszarze tym będą wspierane takie działania, jak m.in. rozwój czystych, neutralnych klimatycznie, przemysłowych łańcuchów wartości, wsparcie dla gospodarki o obiegu zamkniętym, zapewnienie strategicznej autonomii w pozyskiwaniu i wykorzystywa-

niu surowców mineralnych, neutralne klimatycznie systemy i infrastruktury cyfrowe (sieci oraz centra danych), nowe modele biznesowe, zrównoważone projektowanie materiałów i produktów umożliwiające dekarbonizację technologii przemysłowych i cyfrowych oraz rozwój wspomagających technologii cyfrowych: sieci 6G, internetu, IoT, sztucznej inteligencji, robotyki, automatyki, technologii kwantowych czy grafenu.

Dla zwiększenia skuteczności w osiąganiu celów programu przewiduje się, że projekty te będą realizowane głównie w partnerstwach. Zgodnie z założeniami, zaangażowanie w realizację projektów zarówno partnerów prywatnych, jak i publicznych ma poprawić efektywność realizowanych projektów, zwiększyć szansę na wdrożenie wypracowanych rozwiązań oraz ograniczyć ryzyko powielania inwestycji. Dodatkową zaletą takiego podejścia jest poprawa integralności europejskiego ekosystemu badań i innowacji.

Największe możliwości wsparcia badań i innowacji w przemyśle przewidziano w ramach trzech partnerstw: Made in Europe, AI Data and Robotics (ADRA) oraz EIT Manufacturing. Charakterystykę tych partnerstw przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 14. Charakterystyka partnerstw w ramach Horyzontu Europa

Nazwa partnerstwa	Typ partnerstwa i główni partnerzy	Cele i działania	Budżet	Inne informacje
<i>Made in Europe</i>	Współprogramowane partnerstwo publiczno-prywatne, partner prywatny to stowarzyszenie EFRA	Partnerstwo ma być siłą napędową wiodącej roli Europy w zrównoważonej produkcji poprzez zastosowanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym (<i>zero-waste</i> i inne), transformacji cyfrowej i produkcji neutralnej dla klimatu. Partnerstwo będzie służyć jako platforma dla krajowych i regionalnych inicjatyw w zakresie technologii wytwarzania, przyczyniając się do stworzenia konkurencyjnego, ekologicznego, cyfrowego, odpornego i zorientowanego na człowieka europejskiego przemysłu wytwórczego.	Ok. 1 mld euro	Strategiczna agenda badawcza: https://www.efra.eu/sites/default/files/made_in_europe-sria.pdf
<i>AI, Data and Robotics –ADRA (AI, Data and Robotics Association)</i>	Współprogramowane partnerstwo publiczno-prywatne (PPP) pomiędzy Komisją Europejską a pięcioma stowarzyszeniami reprezentującymi sektory robotyki, sztucznej inteligencji oraz analizy i zarządzania danych	<p>Cele strategiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Zapewnienie europejskiej niezależności technologicznej w zakresie AI, danych i robotyki ■ Wypracowanie europejskiej pozycji lidera we wskazanych obszarach z jednoczesnym dużym wpływem socjoekonomicznym ■ Wzmacnianie silnej i konkurencyjnej pozycji Europy w globalnym ekosystemie AI, danych i robotyki <p>Główne obszary tematyczne to:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Technologie i rozwiązania do handlu danymi, monetyzacji, wymiany i interoperacyjności ■ Technologie i rozwiązania zapewniające zgodność, ochronę prywatności, ekologiczne i odpowiedzialne operacje na danych ■ Technologie zarządzania danymi ■ Innowacje w AI, danych i robotyce ■ Współpraca pomiędzy centrami B+R w AI ■ Współpraca pomiędzy centrami B+R w robotyce ■ Roboty przyszłości, które można wdrażać (wydajne, solidne, bezpieczne, adaptacyjne i godne zaufania) 	1,3 mld euro	Strategiczna agenda badawcza: https://adr-association.eu/wp-content/uploads/2020/09/AI-Data-Robotics-Partnership-SRIDA-V3.0-1.pdf

Nazwa partnerstwa	Typ partnerstwa i główni partnerzy	Cele i działania	Budżet	Inne informacje
<i>EIT Manufacturing</i>	<p>EIT Manufacturing to partnerstwo ponad 55 organizacji, w tym Volkswagena, Volvo, Politechniki w Darmstadt, Francuskiej Komisji Energii Alternatywnej i Energii Atomowej (CEA), firmy Siemens, Słowackiego Uniwersytetu Technicznego oraz firmy Whirlpool Europe.</p> <p>Sieć jest wspierana przez Europejski Instytut Innowacji i Technologii (EIT) – niezależny organ UE powołany dla umożliwienia innowatorom przekształcania ich najlepszych pomysłów w produkty, usługi i miejsca pracy w Europie.</p>	<p>Celem jest wsparcie rozwoju dynamicznych paneuropejskich partnerstw między wiodącymi uniwersytetami, laboratoriami badawczymi i przedsiębiorstwami – wspólnotami innowacji. Każda z nich skupia się na konkretnym globalnym wyzwaniu. Powstało osiem partnerstw tematycznych: EIT Climate-KIC, EIT Digital, EIT Food, EIT Health, EIT InnoEnergy, EIT Manufacturing, EIT Raw Materials, EIT Urban Mobility.</p> <p>Strategiczne działania zgrupowano w następujących kategoriach:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Doskonała wiedza i umiejętności produkcyjne: działania edukacyjne dla studentów i pracowników przemysłu ■ Efektywne ekosystemy innowacji w przemyśle wytwórczym – tworzenie ekosystemów innowacji, przedsiębiorczości i przekształceń biznesowych skoncentrowanych na punktach zapalnych innowacji ■ Pełna cyfryzacja produkcji – rozwiązania i platformy cyfrowe, które łączą sieci wartości w skali globalnej ■ Produkcja zorientowana na klienta – zwinna i elastyczna, zaspokajająca globalny zindywidualizowany popyt ■ Bezpieczna, zdrowa, etyczna i zrównoważona społecznie produkcja i produkty ■ Produkcja zrównoważona środowiskowo – czysty i ekologiczny przemysł 	400 mln euro	Przedstawicielem EIT Manufacturing w Polsce jest Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP. Strona polskiego przedstawicielstwa EIT: https://piap.lukasiewicz.gov.pl/badanie/eit-manufacturing-hub/

Źródło: opracowanie własne

Wśród instrumentów na poziomie unijnym można też wskazać Fundusz InvestEU, który ma charakter instrumentu zwrotnego. Obejmuje on m.in. obszar badań naukowych, innowacji i cyfryzacji. W ramach tzw. operacji finansowych i inwestycyjnych finansowane są także tematy związane z Przemysłem 4.0, przede wszystkim technologiami cyfrowymi.

Przykładowe inicjatywy i programy w wybranych państwach europejskich

Na poziomie krajowym dominują dwa sposoby finansowania projektów nakierowanych na Przemysł 4.0: wsparcie ze środków publicz-

nych oraz wsparcie w trybie mieszanym, polegającym na łączeniu środków publicznych z prywatnymi. Wsparcie to może przyjmować dość różne formy i dotyczyć różnych aspektów: zatrudnienia i kompetencji, rozwoju

technologii, prac badawczych, czy doradztwa. W opisach programów niekiedy zapisane jest wprost, że ich realizacja wynika ze strategii rozwoju Przemysłu 4.0. Przykładem jest np. włączenie w Czechach zagadnień inicjatywy *Průmysl 4.0* (Przemysł 4.0) do programu Delta przez Agencję Technologii Republiki Czeskiej (TAČR). Program Delta to program grantowy w zakresie badań stosowanych, nakierowany na współpracę międzynarodową. Wnioskodawcy w wyznaczonym pod kątem celów inicjatywy konkursie zobowiązani zostali do opisanie, w jaki sposób rozwiązania projektu wpisują się w założenia czwartej rewolucji przemysłowej. Ogólnie programy te mogą być

jednak prowadzone przez podmioty różnego typu. Vinnova, Innovate UK, jak i TAČR są agencjami pełniącymi w systemie wsparcia B+R+I podobną rolę jak NCBR – agencji finansującej projekty B+R. Wsparcie jednak może odbywać się poprzez powoływanie grupy podmiotów zajmujących się kompleksową współpracą w zakresie B+R, np. program Katapulta produkcji o wysokiej wartości (HVMC). Inne formy to np. program podnoszący kompetencje pracowników realizowany przez jednego operatora (*Ingenjör 4.0*), czy też realizacja programów wsparcia, w których dofinansowywane są projekty B+R (*Delta*, *Produktion 2030*, *Produktion der Zukunft*).

Tabela 15. Przykłady krajowych programów wsparcia Przemysłu 4.0 w UE i Wielkiej Brytanii

Kraj/nazwa programu	Instytucja	Data uruchomienia	Typ wsparcia	Dla kogo	Pozostałe informacje
Austria <i>Produktion der Zukunft (Produkcja Przyszłości)</i>	AUSTRIACKA AGENCJA PROMOCJI BADAŃ (FFG)	2014	Finansowanie projektów badawczo-rozwojowych	Przedsiębiorstwa, organizacje badawcze, uniwersytety, wyższe szkoły techniczne	Pod obecną nazwą program funkcjonuje od 2014 roku. Do 2023 roku ogłoszono 18 konkursów/naborów. Poszczególne nabory różniły się sposobem organizacji, np. odbywały się we współpracy międzynarodowej, były częścią programu ERA-NET.
Belgia <i>The Made Different – Factories of the Future (Stworzone inaczej – fabryki przyszłości)</i>	AGORIA	2013	Audyt, pomoc w transformacji, pośrednictwo, doradztwo	Przedsiębiorstwa rządowe, organizacje badawcze, uniwersytety	Współpraca m.in. z polską Platformą Przemysłu Przyszłości
Czechy <i>Delta</i>	AGENCJA TECHNOLOGICZNA REPUBLIKI CZESKIEJ (TAČR)		Finansowanie projektów B+R	Jednostki naukowe	Program Delta wspiera współpracę międzynarodową w projektach w zakresie badań stosowanych. Wybrane konkursy w ramach programu Delta z projektami B+R dotyczyły Przemysłu 4.0. Konkursy te wpisują się w inicjatywę Průmysl 2030.

Kraj/nazwa programu	Instytucja	Data uruchomienia	Typ wsparcia	Dla kogo	Pozostałe informacje
Szwecja <i>Produktion 2030 (Produkcja 2030) –Strategiczny program innowacyjny</i>	VINNOVA	2013	Finansowanie projektów badawczych i innowacyjnych	Konsorcja naukowo-badawcze	W ramach programu do 2023 roku przeprowadzono kilkanaście konkursów/naborów projektów, w tym tematycznych. 50% kosztów projektu powinno pochodzić ze środków przedsiębiorstw (udział mógł się różnić w zależności od konkursu).
Szwecja <i>Ingenjör 4.0 (Inżynier 4.0)</i>	VINNOVA	2021	Podnoszenie kompetencji pracowników; program modułowy (obejmuje 16 modułów, natomiast ma być dostępnych 48 modułów)	Uniwersytet Halmstad; prowadzony we współpracy z 13 uniwersytetami ze Szwecji, skierowany do specjalistów (inżynierowie, technicy, kadra zarządzająca)	W programie pilotazowym przeszkolono 100 inżynierów. Celem jest podnoszenie kompetencji 1000 osób rocznie. Projekt utworzony w ramach strategii Produktion2030. Dofinansowanie to 30 mln koron szwedzkich.
Wielka Brytania <i>The High Value Manufacturing Catapult (HVMC, Katapulta produkcji o wysokiej wartości)</i>	INNOVATE UK	2011	Szeroki zakres udzielanego wsparcia, m.in. badania, rozwój technologii, rozwój umiejętności pracowników, rozwój zdolności produkcyjnych	Współpraca z przedsiębiorstwami, organizacjami badawczymi, decydentami w zakresie polityk publicznych	HVMC zostało powołane, by połączyć siły siedmiu centrów innowacji na terenie Wielkiej Brytanii. Jest jedną z dziesięciu tego typu tematycznych organizacji (katapult). Według stanu na rok 2023, HVMC współpracowało łącznie z blisko 21 tys. partnerów przemysłowych i uczestniczyło w ponad 9 tys. projektów B+R.

Źródło: opracowanie własne

Warunki poszczególnych programów i konkursów mogą także kłaść nacisk na różnego rodzaju aspekty związane z technologiami Przemysłu 4.0. W przypadku programu *Produktion 2030* szwedzkiej agencji Vinnova

nacisk w organizowanych konkursach położono m.in. na kwestie ekologiczne i ograniczenia emisyjności. Generalnie większość z opisanych inicjatyw jest nakierowana na rozwiązania w przemyśle.

IV.3. Programy i finansowanie B+R+I w Polsce

- W latach 2019–2021 w Polsce organizowano konkursy na Huby Innowacji Cyfrowych związane ze wsparciem Przemysłu 4.0.
- Kierowane wsparcie jest rozproszone pomiędzy różne instytucje zgodnie z ich kompetencjami.
- Poza wsparciem w programach nieograniczonych tematycznie (tzw. horyzontalnych) zorganizowano szereg programów/konkursów, których celem jest lub był rozwój technologii Przemysłu 4.0. Łączna alokacja w tych konkursach wyniosła blisko 1 mld zł.

Historycznie można wskazać kilka programów/konkursów/inicjatyw organizowanych przez instytucje wspierające badania, rozwój i innowacyjność w Polsce, których celem (wprost deklarowanym) było wsparcie Przemysłu 4.0. Konkursy te organizowane były w latach 2019 i 2021 przez PARP oraz Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii (MPiT). Pierwszy związany był z realizacją Strategii Produktywności 2030 (patrz pkt IV.1) – był to pilotażowy konkurs dotyczący Hubów Innowacji Cyfrowych (DIH). Miał on swoją kontynuację w postaci programu Europejskich Hubów Innowacji Cyfrowych (EDIH),

którego krajowy etap zakończył się w kwietniu 2021 roku wyborem przez Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii 25 kandydatów z Polski. W programie tym w kolejnych etapach Komisja Europejska wybrała 11 konsorcjów, które uzyskały dofinansowanie w wysokości 50% kosztów planowanej działalności przez następne trzy lata. Drugie 50% kosztów jest finansowane przez stronę polską ze środków przyznanych Polsce w ramach Funduszu Spójności. Kolejnym konkursem skierowanym na wsparcie przedsiębiorstw w transformacji do Przemysłu 4.0. był zorganizowany w 2021 roku przez PARP konkurs Przemysł 4.0.

Tabela 16. Programy i konkursy nakierowane na wsparcie Przemysłu 4.0

Nazwa i instytucja organizująca	Daty (zakończenie naboru)	Cel	Dla kogo	Dodatkowe informacje
<p><i>Europejskie Huby Innowacji Cyfrowych (pilotaż)</i></p> <p><i>Program Przemysł 4.0</i></p> <p>Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii</p>	2019	<p>Celem programu było wyłonienie, rozbudowa i uzupełnienie potencjału ośrodków, które posiadały zdolność do pełnienia roli Hubów Innowacji Cyfrowych (Digital Innovation Hub). Kolejno do zadań DIH można było zaliczyć: wypracowanie dobrych praktyk i standaryzację świadczonych przez nie usług oraz wsparcie przedsiębiorców w zakresie transformacji produktowej, usługowej i organizacyjnej.</p>	Przedsiębiorcy, jednostki naukowe, technika, szkoły branżowe i Centra Kształcenia Praktycznego, podmioty o charakterze <i>not-for-profit</i> (powołane przez co najmniej dwie osoby prawne), klastry innowacyjne, partnerzy społeczni i gospodarczy	<p>Zakładany budżet programu wynosił ok. 30 mln złotych.</p> <p>Aplikacja do programu oparta była na modelu Business Model Canvas (autorstwa M. Ostenwaldera).</p> <p>Wyłonione podmioty:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Krakowski Park Technologiczny ■ Politechnika Wroclawska. ■ Fundacja Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu ■ Voicelab.AI ■ Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy

Nazwa i instytucja organizująca	Daty (zakończenie naboru)	Cel	Dla kogo	Dodatkowe informacje
		<p>Miano przy tym korzystać z najnowocześniejsze rozwiązania technologiczne, takie jak:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ łączność w technologii 5G, ■ algorytmy uczące się – sztuczna inteligencja oraz stemy autonomiczne, ■ internet rzeczy (IoT), ■ BIM (building information modelling), ■ chmura obliczeniowa ■ technologie kwantowe (quantum computing), ■ rozszerzona (AR) i wirtualna rzeczywistość (VR), ■ komputerowo zintegrowana produkcja (computer integrated manufacturing), ■ cyberbezpieczeństwo, ■ technologie przyrostowe, ■ mikroelektronika. 		
<p>Przemysł 4.0 – Pilotaż</p> <p>Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości</p>	<p>2021</p>	<p>Celem było przygotowanie małych i średnich przedsiębiorstw produkcyjnych do wdrożenia kompleksowej transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 oraz wdrożenia wybranych obszarów działań w zakresie cyfryzacji, automatyzacji lub robotyzacji.</p>	<p>Małe lub średnie firmy (z wykluczeniem mikro)</p> <p>Jednym z warunków było posiadanie opracowanej mapy drogowej (planu transformacji firmy w kierunku Przemysłu 4.0).</p>	<p>Łącznie w ramach programu Przemysł 4.0 przyznano wsparcie 45 przedsiębiorstwom. Górna kwota wsparcia dla jednego projektu wynosiła 800 tys. złotych. W konkursie o dotacje wzięły udział 481 firmy.</p> <p>Przedsiębiorcy składający do PARP projekty o dofinansowanie w ramach konkursu Przemysł 4.0 najczęściej wnioskowali o wsparcie w obszarze technologicznym (roboty przemysłowe), ale także na integrację technologii informatycznych i operacyjnych (IT/OT), przemysłowy internet rzeczy, big data, analizę danych i tworzenie systemów cyberfizycznych.</p>

Źródło: opracowanie własne

Niezależnie od wskazanych wyżej programów, wspiera się także rozwój rozwiązań, które wykorzystują poszczególne technologie Przemysłu 4.0 lub je rozwijają.

Tabela 17. Wybrane programy i konkursy NCBR mające na celu wsparcie wybranych technologii Przemysłu 4.0

Nazwa	Daty	Zakres tematyczny	Dla kogo	Dodatkowe informacje
CyberSecIdent Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	2016–2020	Podniesienie bezpieczeństwa cyberprzestrzeni RP poprzez zwiększenie dostępności rozwiązań sprzętowych i programistycznych	Konsorcja jednostek naukowych i przedsiębiorstw	Budżet programu to 234 mln złotych. W latach 2016–2020 zorganizowano cztery konkursy. Łącznie podpisano 23 umowy. Program jest prowadzony we współpracy z Ministerstwem Cyfryzacji.
Wspólne Przedsięwzięcie ARTIQ – Centra Doskonałości AI Narodowe Centrum Nauki Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	2021	Stworzenie trzech Centrów Doskonałości w obszarze sztucznej inteligencji (CD AI)	Jednostki naukowe Przed ogłoszeniem konkursu przeprowadzone zostało badanie potencjału w formie zgłoszeń na instytucje hostujące.	Budżet konkursu to 60 mln złotych. W wyniku oceny merytorycznej we wrześniu 2022 roku wybrano dwa wnioski o dofinansowania – z Uniwersytetu Jagiellońskiego i Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.
Infostrateg Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	2021–2023 (pięć konkursów, w tym na projekty zamawiane – III i V konkurs oraz tematyczne – IV konkurs)	Wsparcie rozwoju polskiego potencjału w dziedzinie sztucznej inteligencji poprzez opracowanie rozwiązań wykorzystujących algorytmy AI i blockchain, mających bezpośrednio zastosowanie w praktyce	Przedsiębiorstwa, jednostki naukowe zarejestrowane i prowadzące działalność na terytorium Polski oraz ich konsorcja – liderem konsorcjum jest podmiot realizujący wdrożenie wyników projektu.	Budżet konkursów to: 81 mln złotych (I konkurs), 60 mln złotych (II konkurs), 18,4 mln złotych (III konkurs), 190 mln złotych (IV konkurs), 13 mln złotych (V konkurs). Każdy z konkursów miał inny zakres tematyczny. Łącznie podpisano 16 umów w I i III konkursie. W IV konkursie dofinansowanie otrzymało 16 projektów. Zakończenie naboru V konkursu nastąpiło w kwietniu 2023 roku.
Szybka Ścieżka – innowacje cyfrowe Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	2022	Podmioty planujące realizację projektów badawczo-rozwojowych z zakresu cyberbezpieczeństwa, cyfryzacji przemysłu i cyfrowych technologii kreatywnych	Przedsiębiorstwa i ich konsorcja (również z jednostkami naukowymi)	Budżet konkursu to 811 mln złotych. Był to ostatni konkurs w ramach programu Szybka Ścieżka. Złożono w nim 434 wnioski, z czego do dofinansowania wybrano 117 projektów na kwotę 801,4 mln złotych. Znaczna część projektów wykorzystuje technologie Przemysłu 4.0, takie jak IoT, AI, AR, big data, cyfrowy bliźniak, rozwiązania chmurowe.
NEON II Narodowe Centrum Badań i Rozwoju	2023	Trzy tematy badawcze dotyczące systemów monitoringu korozji instalacji produkcyjnych oraz funkcjonowania ochrony zbiorników podziemnych	Jednostki naukowe, przedsiębiorstwa oraz ich konsorcja	Budżet konkursu to 8 mln złotych. Tematem przewodnim II konkursu jest Przemysł 4.0. Jest to wspólne przedsięwzięcie z PKN Orlen. Nabór wniosków trwa do 31 marca 2023 roku.

Źródło: opracowanie własne

Organizatorem lub współorganizatorem wymienionych w powyższej tabeli programów jest Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Łączna alokacja w tych konkursach wynosi ponad 1 mld zł (z czego 68% przypada na konkurs w ramach Szybkiej Ścieżki – POIR 1.1.1. – finansowanej z Funduszy Europejskich).

Poza samymi programami warto także wspomnieć o inicjatywach instytucjonalnych, które pełnią istotną rolę w ekosystemie wsparcia. W 2019 roku powołano do działania Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości³, co było konsekwencją realizacji projektu

Polska Platforma Przemysłu 4.0 zawartego w Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do 2020 r. (z perspektywą do 2030 r.). Projekt ustawy wychodził naprzeciw działaniom podejmowanym w Unii Europejskiej (powołanie Platform Przemysłu 4.0 w wielu krajach UE) oraz oczekiwaniom sektora prywatnego w Polsce.

Z kolei w przypadku sztucznej inteligencji należy wspomnieć o IDEAS NCBR, powołanej w 2020 roku spółce zależnej NCBR, która działa w obszarze sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego, robotyki, technologii blockchain czy ekonomii cyfrowej.

Podsumowanie

Podstawą wniosków z badania jest umieszczenie ich w szerszym kontekście warunkującym rozwój technologii. Zrozumienie tych uwarunkowań pozwala na formułowanie bardziej precyzyjnych wniosków i rekomendacji działań.

Uwarunkowania rozwoju technologii Przemysłu 4.0

- W krótkim okresie na działalność przedsiębiorstw Przemysłu 4.0 i rozwój technologii najsilniej oddziałują czynniki ekonomiczne, w szczególności związane z dostępnością komponentów, zmianami modeli biznesowych, niestabilnością cen.
- Wśród czynników społecznych na rozwój Przemysłu 4.0 wpływa poziom współpracy, brak komunikacji i integracji rozwiązań, zwłaszcza zamawianych lub rozwijanych przez sektor publiczny.
- Barię wdrażania technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach w Polsce jest brak wiedzy, dobrych przykładów, strategii oraz posiadania map drogowych technologii.
- Regulacje oraz polityki charakteryzują się zmiennością oraz nieprzejrzystością dla przedsiębiorców, co utrudnia wdrażanie i rozwój technologii Przemysłu 4.0.
- W Polsce istnieje silna branża integratorska, co powinno być uwzględniane przy tworzeniu krajowych polityk w zakresie rozwoju technologii, najlepiej w systemie partycypacyjnym.

Rozwój technologii Przemysłu 4.0 nie jest uwarunkowany tylko czynnikami czysto technologicznymi, badawczymi, ale także szeregiem czynników zewnętrznych. W związku z dużą niepewnością i ryzykiem związanym z nowymi technologiami, środowisko w którym powstają i w którym są wdrażane można opisać akronimem VUCA (*volatility* – zmienność, *uncertainty* – niepewność, *complexity* – złożoność, *ambiguity* – niejednoznaczność). Poniżej podjęto próbę uszeregowania czynników mających wpływ na rozwój technologii zgodnie z metodą PESTEL. Polega ona na analizie w podziale na czynniki polityczne, ekonomiczne, społeczne, technologiczne, środowiskowe i prawne. Poszczególne czynniki potraktowano hasłowo. Uszeregowano je od bardziej ogólnych, oddziałujących na sektor w skali globalnej, po te, które mają bardziej bezpośredni wpływ w Polsce.

POLITYCZNE

- Napięta relacja pomiędzy USA a Chinami wpływająca na łańcuchy wartości i dostępność komponentów;
- Inwazja Rosji na Ukrainę i jej skutki;
- Stosowanie ograniczeń w transferze technologii jako narzędzia polityki międzynarodowej;
- Zapotrzebowanie na rozwiązania z zakresu cyberbezpieczeństwa (w tym rozwój współpracy międzynarodowej);
- Ambitne cele polityk rozwojowych (np. w zakresie pojazdów elektrycznych);
- Wprowadzanie unijnych i krajowych polityk lub strategii nakierowanych na rozwój/wsparcie technologii Przemysłu 4.0;

- Uczestnictwo w rozwoju standardów dla poszczególnych technologii;
- Rozwój pośrednich instrumentów wsparcia w Polsce, np. w zachęt do prowadzenia prac B+R, IPBox, ulga na robotyzację;
- Wsparcie w postaci istnienia wyspecjalizowanych podmiotów wspierających rozwój Przemysłu 4.0 (w Polsce Platforma Przemysłu Przyszłości).

Jako najbardziej istotne dla rozwoju Przemysłu 4.0 w chwili obecnej można wskazać czynniki związane z otoczeniem międzynarodowym. Szczególnie dotyczy to napięć w skali globalnej (USA-Chiny) i w skali lokalnej (wojna w Ukrainie). Czynniki te mają istotny wpływ na funkcjonowanie branży – wpływ ten został szerzej omówiony w ramach czynników ekonomicznych. Sytuacja międzynarodowa potencjalnie może wpływać także na brak poszanowania praw własności przemysłowej przez niektóre państwa. Trudno jest ocenić wpływ bieżących konfliktów w odniesieniu do zapotrzebowania na technologie Przemysłu 4.0 ze strony przemysłu zbrojeniowego. Z przeprowadzonych wywiadów wynika, że w Polsce wpływ napięć i konfliktów na zapotrzebowanie zgłaszane przez przemysł zbrojeniowy w zakresie technologii dostarczanej przez polskich dostawców był niewielki. W skali polityk rozwojowych istotne jest natomiast precyzyjne i proste wskazanie kierunków rozwoju. Nadmiar i złożoność definicji, terminów; szybkość wprowadzania i nadmiar polityk utrudniają przedsiębiorcom planowanie. W kontekście polskim istotne jest, by cele odpowiadały możliwościom, w tym istniejącej infrastrukturze. Istotna jest też kwestia wdrażania polityk i standardów. Szczególnie ważne jest, by strona polska także uczestniczyła w ich kształtowaniu w ramach powoływanych inicjatyw (np. inicjatywa GaiaX, dotycząca projektowania i wdrażania architektury udostępniania danych składającej się ze wspólnych standardów ich wymiany, najlepszych praktyk, narzędzi oraz mechanizmów zarządzania danymi).

EKONOMICZNE

MAKRO

- Niepewne otoczenie makroekonomiczne:
 - spowolnienie światowej gospodarki (obejmujące także Polskę),
 - wysoka inflacja, kłopot z ustalaniem cen dla producentów,
 - wzrost stóp procentowych mający negatywny wpływ na inwestycje w nowe technologie,
 - wzrost cen energii.
- Zaburzenia na rynkach spowodowane pandemią COVID19 i ich konsekwencje:
 - zerwanie łańcuchów dostaw,
 - utrudnienia w dostępie do komponentów,
 - przyspieszenie robotyzacji i cyfryzacji przedsiębiorstw.
- Cyfrowa transformacja handlu i usług on-line (w tym zamykanie sklepów tradycyjnych bądź ich automatyzacja);
- Postępująca automatyzacja procesów biznesowych, w tym w szczególności rutynowych czynności;
- (VC) w Polsce, umożliwiającego finansowanie wczesnych etapów przedsięwzięć o podwyższonym ryzyku, w tym tzw. *deep tech*.

MIKRO

- Spadek kapitalizacji liderów gospodarki cyfrowej (w USA) i możliwość obniżenia przez nie nakładów B+R na nowe technologie;

- Spadek marż produkcyjnych;
- Zmiana dotychczas funkcjonujących modeli biznesowych, spadek zastosowania podejść *just-in sequence* oraz *just-in-time*;
- Uzależnienie od zagranicznych dostawców technologii w Polsce;
- Rozwój i stosunkowo dobra pozycja polskich przedsiębiorstw integratorskich;
- Brak kompleksowych strategii dotyczących technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach;
- Istniejące zróżnicowanie regionalne w Polsce w zakresie technologii i różne ścieżki rozwoju;
- Niski stopień komercjalizacji wypracowanych patentów.

Globalne pogorszenie koniunktury oraz zahamowanie procesów globalizacyjnych negatywnie oddziałują na przedsiębiorstwa technologiczne. Następuje zmiana dotychczas funkcjonujących modeli biznesowych, związana nie tylko z utrudnieniami w zakresie łańcucha dostaw, ale także w obszarze finansowania. Przykładowo dotyczy to braku możliwości zakupu komponentów z wykorzystaniem kredytu i przejściem na system przedpłat, co jest skutkiem generalnego braku komponentów na rynku. Skutkuje to odejściem od modeli takich jak *just-in-time* i powstaniem magazynów buforowych. Także w Polsce warunki rynkowe występujące na przełomie lat 2022/2023 stwarzają istotne problemy dla producentów. Dotyczy to szczególnie planowania długookresowego w warunkach niepewności, co ma negatywne przełożenie na inwestycje. Powoduje to utrudnienia w funkcjonowaniu na rynku i spadek konkurencyjności polskich wytwórców na rynku globalnym. Polska w chwili obecnej jest importerem technologii, natomiast posiada

względna przewagę, jeśli chodzi o przedsiębiorstwa integratorskie. Trudność w dostępie do komponentów i wzrost ich cen w takiej sytuacji oznaczają spadek marż rodzimych przedsiębiorstw. Taki stan może wyznaczać kierunki rozwoju wsparcia technologii w Polsce. Po stronie popytowej barierą rozwojową jest niska kultura organizacyjna, inżynierska i menedżerska w polskich przedsiębiorstwach. Wzrost poziomu wiedzy i umiejętności menedżerów oraz wdrożenie map rozwoju technologii mogą być czynnikami przyspieszającymi implementację nowoczesnych technologii w polskich przedsiębiorstwach. Czynnikiem ograniczającym wdrożenia technologii Przemysłu 4.0 w polskich przedsiębiorstwach jest brak wiedzy w organizacji na poziomie zarządów i działów technicznych – jak wprowadzenie technologii wpłynie na jej stabilność, jakie będą koszty i ograniczenia w perspektywie długofalowej i jakie kompetencje są potrzebne w procesie implementacji. Zdaniem ekspertów panuje przekonanie, że wewnętrzne zasoby (działy IT, utrzymania ruchu) poradzą sobie z procesem wdrożenia technologii i wprowadzenia zmian organizacyjnych. Rozwiązaniem opisanej kwestii jest edukacja w kierunku zrozumienia technologii i traktowanie jej jako zasobu strategicznego, a nie narzędziowego.

SPOŁECZNE

- Zmiana sposobu pracy (hybrydowa/zdalna) i życia (cyfryzacja usług) oraz związane z tym zapotrzebowanie na rozwiązania technologiczne;
- Zmiany na rynku pracy wynikające z trendów demograficznych, nowe modele pracy, np. z wykorzystaniem robotów;
- Wyzwania związane z dostosowaniem technologii pod potrzeby osób wykluczonych cyfrowo;
- Rosnąca urbanizacja i zapotrzebowanie na sprawniejsze zarządzanie miastem (*smart city*);

- Niski poziom kapitału społecznego w Polsce: brak współpracy, brak komunikacji i integracji rozwiązań;
- Niska świadomość (zwłaszcza wśród menedżerów) zagadnień i korzyści związanych z wdrożeniem technologii Przemysłu 4.0;
- Niska świadomość społeczna dotycząca znaczenia prac badawczo-rozwojowych B+R;
- Powolne wytwarzanie się kultury innowacji w Polsce;
- Utrzymująca się niska kultura patentowania w Polsce;
- Brak inwestycji w edukację i szkolenia rozwijające umiejętności (także miękkie), potrzebne w coraz bardziej zautomatyzowanych i połączonych fabrykach przyszłości.

Szereg czynników społecznych na poziomie globalnym wiąże się z megatrendami oddziałującymi szeroko na społeczeństwo, w tym np. związanymi ze zmianami demograficznymi. Na gruncie polskim największym wyzywaniem pozostaje niski poziom kapitału społecznego. Objawia się on brakiem komunikacji i współpracy oraz pozamykanymi silosami informacyjnymi²². Skutkiem tego jest rozproszenie i dublowanie prac czy brak standardów objawiający się m.in. różnym podejściem miast w zakresie budowy rozwiązań typu *smart city*. Jeszcze większym wyzwaniem jest zapewnienie spójności implementacji polityk innowacyjnych i działań państwa, np. wykorzystanie krajowych (nie zagranicznych) zasobów w państwowych przedsięwzięciach przemysłowych (np. Izera). W tej samej kategorii mieści się usprawnienie transferu technologii lub współpracy na linii uczelnia-przedsiębiorstwo. Tutaj warunkowane jest to także rozbieżnością interesów i celów²³. Z kolei niska kultura patentowania wiąże się z nie tylko z kosztami, ale tak-

że, po stronie przedsiębiorstw, z brakiem wiary w skuteczność takiej ochrony. W tym obszarze przydatne mogłyby być rozwiązania redukujące poziom obaw przed nowymi technologiami, także wśród przedsiębiorców. Środkiem do tego jest edukacja i promocja dobrych praktyk – najlepiej przedstawianych na przykładach. Od strony kapitału ludzkiego, atutem Polski są dobrzy specjaliści, natomiast brakuje interdyscyplinarnych kierunków studiów (wyjątkiem są wybrane studia podyplomowe), które łączyłyby elementy informatyki, automatyki itp. Nowe kierunki studiów powinny budować także kompetencje miękkie, uczyć jak tworzyć zespoły transformacyjne, wdrażać technologie i rozwiązywać problemy.

TECHNOLOGICZNE

- Rozwój standardów i technologii mobilnej transmisji danych;
- Ryzyka związane z dostępnością komponentów, półprzewodników (np. z Tajwanu);
- Wzrost ilości danych: z czujników różnego typu, maszyn, zautomatyzowanych systemów produkcyjnych;
- Stopień otwartości dostępu do danych, umożliwiający ich ponowne wykorzystanie – zatrzymywanie i brak udostępniania danych lokalnych vs. polityka otwartości danych;
- Zbyt powolne tempo transferu technologii do przedsiębiorstw, wpływające na szybkość rozwoju technologii;
- Wzrastająca popularność tematyki związanej z technologiami Przemysłu 4.0, podejmowanej jako przedmiot prac B+R;
- Sprzężenie zwrotne: przyspieszenie prac B+R dzięki zastosowaniu technologii Przemysłu 4.0 (np. dzięki użyciu sztucznej inteligencji lub cyfrowych bliźniaków).

²² Poprzez silos informacyjny rozumie się odizolowane systemy w organizacji (np. komórki organizacyjne), które nie komunikują się ze sobą.

²³ Więcej informacji na ten temat można znaleźć w (NCBR, 2022b).

Na rozwój Przemysłu 4.0 wpływa ogólny poziom rozwoju techniki, choćby tylko w zakresie mobilnej transmisji danych. Ułatwia to zarówno dalszy przyrostowy rozwój innowacji, jak i zwiększa możliwość adaptacji rozwiązań Przemysłu 4.0. Istotnym czynnikiem rozwoju jest wzrost ilości danych (przy czym zależy to od branży), które mogą być wykorzystywane do rozwiązywania problemów zarówno w badaniach naukowych, świadczeniu usług publicznych, jak i prowadzeniu biznesu. Technologie Przemysłu 4.0 są bowiem przede wszystkim środkiem rozwiązywania konkretnych problemów, a nie wartością samą w sobie. Powinno to wiązać się z odpowiednim przekazem, kładącym nacisk na obszary wdrożeń i konkretnych zastosowań wybranych rozwiązań.

ŚRODOWISKOWE

- Zapotrzebowanie biznesowe na bardziej efektywną, mniej energo- i materiałochłonną produkcję i usługi;
- Wdrażanie w przedsiębiorstwach modeli biznesowych i polityk uwzględniających aspekty środowiskowe (np. PLM, CSR, ESG);
- Koncepcja Przemysłu 5.0, uwzględniająca także czynniki środowiskowe, jako rama dla polityk rozwojowych;
- Szersze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii i zapewnienie odpowiedniej infrastruktury krytycznej dla stabilności systemu.

Cyfryzacja organizacji i jej procesów nie tylko wpływa na ich efektywność, ale daje też możliwość kontroli procesów, w tym również w zakresie standardów środowiskowych związanych ze zmniejszeniem emisyjności i śladu węglowego oraz zrównoważonego rozwoju. Od strony praktycznej istotną rolę odgrywają globalne polityki korporacji transnarodowych

– wprowadzanie przez nie standardów i wymogów, w tym w zakresie norm środowiskowych. Polskie firmy uczestniczące w globalnych łańcuchach dostaw także im podlegają. Wyzwaniem stojącym przed Polską jest zapewnienie w większym stopniu energii pochodzącej z OZE i stabilności w obszarze energetyki.

PRAWNE

- Złożoność przedmiotu regulacji prawnej, brak rozbudowanych kategorii i terminów prawnych adekwatnie oddających istotę regulacji nowych lub przekształcających się obiektów;
- Zbyt powolne zmiany prawne m.in. w takich obszarach jak: ochrona własności intelektualnej, prawo konkurencji, prawo podatkowe, prawo zatrudnienia i prawa konsumentów w stosunku do postępu technologicznego;
- Wyzwania prawne związane z bezpieczeństwem przetwarzania i przechowywania danych;
- Wyzwania prawne wynikające ze skutków stosowania nowych technologii, np. sztucznej inteligencji;
- Normy prawne i regulacje środowiskowe stwarzające potrzebę stosowania technologii Przemysłu 4.0, np. w zakresie czujników, monitorowania itp. w celu ograniczenia wycieków, odpadów i emisji;
- Aktywność ustawodawcza UE, której celem jest regulacja wybranych technologii (np. unijny akt w sprawie sztucznej inteligencji), i wzmocnienia działań zapewniających pozycję Europy (Chips Act);
- Tworzenie standardów w zakresie technologii, np. rozwiązań chmurowych (GaiaX);
- Niska jakość i zawitość przepisów prawa, przy jednoczesnej wysokiej dynamice zmian prawnych.

Szybkość tworzenia prawa i jego nieprzejrzystość dla użytkowników może być czynnikiem utrudniającym prace nad nowymi technologiami, generującymi dodatkowe koszty dla jego użytkowników (np. koszty analiz prawnych). Z drugiej strony trzeba jednak zauważyć, że regulacje prawne ułatwiają wypracowywanie standardów i mają istotny wpływ na pozostałe grupy czynników. Pomimo tego, że w procesie ustawodawczym uczestniczą (nominalnie) organizacje reprezentujące przedsiębiorców, to z punktu widzenia sprawnego wdrażania technologii i ich rozwoju, proces tworzenia

prawa w zakresie nowych technologii powinien mieć charakter w większym stopniu partycypacyjny.

Wsparcie w zakresie Przemysłu 4.0/5.0 powinno zostać dostosowane do wymagań kluczowych branż. W załączniku nr 1 zestawiono podstawowe obszary i technologie stanowiące katalizatory Przemysłu 4.0 i 5.0. Przedstawiono w nim również cele, stan obecny oraz rekomendacje opracowane przez specjalistów reprezentujących 17 organizacji w raporcie *Czas na cyfrową gospodarkę*, fundacji Digital Poland.

Najważniejsze wnioski

- Termin „Przemysł 4.0” nie jest intuicyjny. Duża część twórców i odbiorców technologii nie rozumie w pełni tego pojęcia. Podobnie dotyczy to wprowadzonego przez Komisję Europejską terminu „Przemysł 5.0”.
- Technologie Przemysłu 4.0 wpisują się w megatrendy rozwojowe (np. digitalizacja i automatyzacja pracy) lub odpowiadają na część wyzwań z nimi związanych (np. urbanizacja).
- Przodującym trendem jest rozwój sztucznej inteligencji i powiązanego z nią uczenia maszynowego.
- Badania statystyczne wskazują na pozytywny wpływ zastosowania sztucznej inteligencji na zatrudnienie w działach B+R, jednak pełne zrozumienie stojących za tym faktem mechanizmów wymagałoby przeprowadzenia pogłębionych badań.
- Widoczne jest względne, mierzone liczbą publikacji, zmniejszenie zainteresowania niektórymi technologiami, takimi jak AR.
- Pozycja Polski w zakresie tworzenia technologii Przemysłu 4.0 jest niska na tle krajów UE.
- Przewagą i silną stroną Polski pozostaje względnie znacząca rola przemysłowych przedsiębiorstw integratorskich, których mocnymi stronami są: elastyczność, szybkość i jakość wdrożeń.
- Publikacje polskich autorów odpowiadają potencjałowi Polski; znacznie gorzej kształtują się wskaźniki związane z patentami. Jest to pokłosie niskiej kultury patentowania w kraju.
- Poza automatyzacją największa liczba patentów posiadanych przez polskie jednostki dotyczy druku 3D.
- Technologie i zagadnienia mieszczące się w zakresie Przemysłu 4.0 występują w strategiach rozwojowych na szczeblu centralnym, ale są raczej kwestiami pobocznymi. Brak jest strategicznego dokumentu wskazującego obszary o największym potencjale rozwojowym w zakresie nowoczesnych technologii oraz identyfikacji potencjału rozwojowego poszczególnych gałęzi przemysłu w Polsce, posiadanych technologii i istniejących przewag komparatywnych.
- Wsparcie rozwoju Przemysłu 4.0 (w postaci programów) jest prowadzone w Polsce od 2019 roku. Zasadniczo nie odbiega ono od form stosowanych za granicą, choć wsparcie zagraniczne jest bardziej rozbudowane i adresowane do różnych interesariuszy. W zakresie wsparcia B+R zorganizowano kilka programów obejmujących technologie Przemysłu 4.0. Łączna alokacja w tych programach wynosi ok. 1 mld złotych.
- Niektóre przedsiębiorstwa integratorskie przyjmują racjonalne i uzasadnione z ich punktu widzenia sposoby zarządzania portfolio projektów B+R. Projekty na zamówienie realizowane są ze środków własnych, z uwagi na krótsze okresy realizacji, ukierunkowanie na wdrożenie i mniejsze nakłady inwestycyjne. W przypadku projektów długofalowych, obarczonych większym ryzykiem, przedsiębiorstwa korzystają ze wsparcia publicznego. Jest to mechanizm, który zachęca do podejmowania bardziej ambitnych tematów. Jest on optymalny z punktu widzenia polityki wsparcia B+R.

Rekomendacje

Większość ze wskazanych rekomendacji odnosi się do polityki naukowo-technicznej w zakresie Przemysłu 4.0. Rekomendacje nr 1, 3–7 mogą być zastosowane w praktyce NCBR.

1. Terminów Przemysł 4.0 i Przemysł 5.0 można używać w przypadku tekstów analitycznych lub naukowych. W przypadku materiałów i konkursów kierowanych do beneficjentów warto zastąpić je pojęciami bardziej zrozumiałymi, przykładowo „czwartą rewolucją przemysłową”, w zawężonym ujęciu „przemysłem przyszłości” (jak w nazwie Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości) lub bezpośrednio nazwami technologii. Stosowanie tego terminu jest uwarunkowane jego upowszechnieniem. Używanie terminów np. „Rolnictwo 4.0” stanowi lepsze rozwiązanie, bo wyraźnie wskazuje obszar zastosowań.
2. Wymagana jest pogłębiona analiza mocnych i słabych stron potencjalnych obszarów wsparcia. Brakuje dokumentu strategicznego, który zastąpiłby Krajowy Program Badania. Pozwoliłby on skoncentrować wysiłki państwa na optymalnych z punktu widzenia alokacji zasobów obszarach. Pewne wskazówki co do kierunków wsparcia zostały przedstawione w załączniku nr 1.
3. Zakres zastosowań elementów Przemysłu 4.0 jest bardzo szeroki, a większość rozwiązań i projektów może być wspierana w ramach programów horyzontalnych, np. ścieżki SMART. Niemniej warto identyfikować „polskie specjalizacje” (szczególne obszary o dużym potencjale rozwojowym), które na obecnym etapie wymagają wsparcia ze środków publicznych. Należy brać przy tym pod uwagę konieczność budowania odpornych i pewnych łańcuchów wartości w sytuacji odwrotu od globalizacji, polegającego m.in. na skróceniu łańcuchów dostaw. Dotyczy to także rozwiązań o charakterze hardware, a nie tylko software.
4. Rozwiązania Przemysłu 4.0 mogą także służyć odpowiadaniu na określone wyzwania badawcze. Powinny być traktowane w takim przypadku bardziej jako narzędzie niż cel sam w sobie – i w taki sposób mogą być wskazywane w zakresie tematycznym konkursów.
5. Programy wspierające wdrażanie technologii Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwach powinny wymagać powstawania map drogowych transformacji (bezpośredni wpływ na minimalizację czasu oraz ryzyka wdrożenia planowanych rozwiązań) lub ocenę dojrzałości cyfrowej. Jako przykład można podać program Przemysł 4.0, prowadzony przez PARP.
6. Istotne dla rozwoju Przemysłu 4.0 jest wprowadzenie programów rozwoju kompetencji w zakresie Przemysłu 4.0 i działania mające na celu ograniczenie deficytu specjalistów i drenażu talentów. Odpowiedni poziom kompetencji ma znaczenie zarówno dla rozwoju rozwiązań technologicznych, organizacyjnych i biznesowych, jak i implementacji technologii w przedsiębiorstwach.
7. Wspierane projekty powinny angażować uczelnie oraz przemysł, przy założeniu konieczności budowania zespołów transformacyjnych (lider zmian oraz zespół ekspertów obszarowych), co także będzie sprzyjało budowaniu kompetencji zespołów.

Można też wskazać pewne zalecenia o charakterze systemowym, związane ze wzmocnieniem procesów wdrożeniowych:

8. Usprawnienie i skrócenie procesu uzyskania prawa patentowego lub wzoru użytkowego (skrócenie czasu procedur, ułatwienie składania wniosków, opracowanie e-narzędzi do wspomagania składania wniosków) będzie sprzyjało zmianie kultury patentowania i wspierało komercjalizację wyników badań.
9. Zakres i dynamikę wdrażania procesów automatyzacji i robotyzacji mogą wzmocnić: wprowadzenie preferencyjnych zasad amortyzacji wydatków na automatyzację, ulgi dla przedsiębiorstw rozwijających automatyzację (np. w postaci niższej stawki podatku dochodowego dla wpływów pochodzących z działalności zautomatyzowanej), zniesienie limitu czasowego na rozliczenie strat związanych z inwestycjami w automatyzację produkcji, możliwość częściowego zaliczenia do kosztów uzyskania przychodu wydatków związanych z automatyzacją lub robotyzacją (ponoszonych w bieżącym okresie) oraz wydatków planowanych (w tym odpisów amortyzacyjnych). Z preferencji mógłby skorzystać przedsiębiorca w ciągu dwóch lat poprzedzających dokonanie inwestycji, o ile jej realizacja nastąpi w ciągu kolejnych trzech lat.

Niniejsza publikacja została przygotowana przez:

Michała Baranowskiego – eksperta w Sekcji Analiz i Ewaluacji NCBR, redaktora publikacji,

dr Monikę Kordowską – starszego specjalistę w Sekcji Analiz i Ewaluacji NCBR,

Jolantę Pisarek – eksperta w Sekcji Analiz i Ewaluacji NCBR,

Zbysława Ziemackiego – głównego specjalistę w Sekcji Analiz i Ewaluacji NCBR,

oraz

dr. hab. inż. Mariusza Hetmańczyka – profesora Politechniki Śląskiej w Gliwicach i zastępcę dyrektora Działu Zarządzania Wiedzą fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości,

dr. inż. Artura Pollaka – prezesa zarządu APA Group sp. z o.o.

Autorzy dziękują dr Barbarze Kowalczyk i Katarzynie Krok z Sekcji Analiz i Ewaluacji, Maciejowi Martyniukowi z Sekcji Strategii oraz Michałowi Chomczykowi, dr Annie Czarneckiej, dr inż. Agnieszce Jakubiak, dr. Piotrowi W. Zawadzkiemu, dr inż. Justynie Szlagowskiej-Spychalskiej, dr inż. Annie Tyburskiej-Staniewskiej z Sekcji Ekspertów Wewnętrznych za uwagi do opracowania.

Bibliografia

BAZY DANYCH

(BDL) Bank Danych Lokalnych <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start>

Espacenet <https://worldwide.espacenet.com/>

Data Dashboard, Advanced Technologies for Industry <https://ati.ec.europa.eu/data-dashboard/>

Google Trends <https://trends.google.pl/>

(WoS) Web of Science <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>

STRONY INSTYTUCJI

<https://przemysl-40.pl/>

<https://www.vinnova.se/en/calls-for-proposals/the-strategic-innovation-programme-for-production2030/>

<https://www.ingenjor40.se/>

<https://www.agoria.be/en/factories-of-the-future/services/transformation-advice-factory-of-the-future>

<https://hvm.catapult.org.uk/what-we-do/>

<https://www.ffg.at/en/program/migriert-production-future-calls>

https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/national_initiatives_for_digitising_industry_across_the_eu.pdf

<https://wimim.zut.edu.pl/strona-kandydatow/studia-pierwszego-i-drugiego-stopnia/inzynieria-produkcji-w-przemysle-40.html>

<https://www.pw.edu.pl/Kształcenie/Studia-podyplomowe-i-kursy/Oferta/Transformacja-Przemyslowa-4.0>

https://www.polsl.pl/rm/studia_podyplomowe_lider_w_przemysle_4_0/

<https://www.wsb-nlu.edu.pl/pl/master-of-business-administration-przemysl-4-0>

<https://www.effra.eu/> <https://www.effra.eu/>

ARTYKUŁY ON-LINE

<https://ptsp.pl/megatrendy/>

<https://hatalaska.com/2022/02/10/mapa-trendow-2022/>

<https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/agriculture-4-0--the-future-of-farming-technology.html>

<https://www.mastercontrol.com/gxp-lifeline/quality-4.0-industry-guide/>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-021-01765-4>

<https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/supply-chain-40--the-next-generation-digital-supply-chain>

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RAMJ-08-2020-0047/full/html>

<https://mobileinsight.com/understanding-retail-4-0-digital-transformation/>

<https://healthcare-digital.com/digital-healthcare/what-health-4>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162521000986>

<https://www.thermofisher.com/blog/connectedlab/data-integrity-and-pharma-4-0/>

<https://tulip.co/ebooks/pharma-4-0/>

<https://electricenergyonline.com/energy/magazine/1233/article/Energy-4-0-Revolution-or-Fad-.htm>

<https://przemysl-40.pl/index.php/2018/01/25/od-industry-4-0-do-smart-factory-czesc-1/>

<https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20210211STO97614/big-data-definicja-korzysci-wyzwania-infografika>

<https://www.ibm.com/pl-pl/cloud/learn/machine-learning>

<https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20200827STO85804/sztuczna-inteligencja-co-to-jest-i-jakie-ma-zastosowania>

<https://ati.ec.europa.eu/reports/Policy-Briefs>

DOKUMENTY

(KE 2019) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – *Europejski Zielony Ład*, COM(2019) 640 final z dnia 11 grudnia 2019 r.

(KE 2020a) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – *Kształtowanie cyfrowej przyszłości Europy*, COM(2020) 67 final z dnia 19 lutego 2020 r.

(KE 2020b) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – *Europejska strategia w zakresie danych*, COM(2020) 66 final z dnia 19 lutego 2020 r.

(KE 2020c) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – *Nowa strategia przemysłowa dla Europy*, COM(2020) 102 final z dnia 10 marca 2020 r.

(KE 2020d) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – *Decydujący moment dla Europy: naprawa i przygotowanie na następną generację*, COM(2020) 456 final z dnia 27 maja 2020 r.

(KE 2021a) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – *Cyfrowy kompas na 2030 r.: europejska droga w cyfrowej dekadzie*, COM(2021) 118 final z dnia 9 marca 2021 r.

(KE 2021b) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – *Aktualizacja nowej strategii przemysłowej z 2020 r. – tworzenie silniejszego jednolitego rynku sprzyjającego odbudowie Europy*, COM(2021) 350 final z dnia 5 maja 2021 r.

(KE 2022) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego i Rady – *Sprawozdanie dotyczące prognozy strategicznej z 2022 r. Powiązanie transformacji ekologicznej i cyfrowej w nowym kontekście geopolitycznym*, COM(2022) 289 final z dnia 29 czerwca 2022 r.

(PNP 2022) *Polityka Naukowa Państwa*, Ministerstwo Edukacji i Nauki, Warszawa 2022

(PPP 2021) *Polityka Przemysłowa Polski*, Ministerstwo Rozwoju, Pracy i Technologii, Warszawa, 9 czerwca 2021 r.

(SC RP 2019) *Strategia Cyberbezpieczeństwa Rzeczypospolitej Polskiej na lata 2019–2024*, Ministerstwo Cyfryzacji 2019.

(SOR 2017) *Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.)*, Ministerstwo Rozwoju 2017.

(SP 2022) *Strategia produktywności 2030*, Ministerstwo Rozwoju i Technologii, czerwiec 2022.

RAPORTY

(Autodesk, 2020) Golonka J., *Badanie stopnia cyfryzacji polskich przedsiębiorstw przemysłowych*, Autodesk. Dostęp: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/drafrtr/10255/Innowacje%20w%20polskich%20firmach%20-%20wnioski%20z%20raportu%20%E2%80%9CSukcesy%20i%20wyzwania%20w%20cyfryzacji%20polskich%20przedsi%C4%99biorstw%20przemys%C5%82owych.%E2%80%9D.pdf?av=20200602110420>,

(Deloitte, 2020) *The Fourth Industrial Revolution. At the intersection of readiness and responsibility*, Deloitte. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Reports/PL_DI_Industry4_0_2020.pdf

(DeLab UW, 2019a) Nosalska K., Śledziwska K., Włoch R., Gracel J., *Wsparcie dla przemysłu 4.0 w Polsce. Prototyp narzędzia oceny dojrzałości cyfrowej przedsiębiorstw produkcyjnych*, DeLab UW, Fundacja Polska Platforma Przemysłu Przyszłości, Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii. <https://przemysl-40.pl/wp-content/uploads/2019-Badanie-dojrzalosci-firm.pdf>

(DeLab UW, 2019b) *Kompetencje przyszłości. Jak je kształtować w elastycznym ekosystemie edukacyjnym?* Dostęp: <https://www.delab.uw.edu.pl/raporty/kompetencje-przyszlosci-jak-je-ksztaltowac-w-elastycznym-ekosystemie-edukacyjnym/>, 12.12.2021

(Digital Poland, 2022) *Czas na cyfrową gospodarkę*, Fundacja Digital Poland. Dostęp: <https://digitalpoland.org/publikacje/pobierz?id=ce164b34-81cd-46ec-90cc-c879d5861872>, 12.12.2022

(Frascati, 2015) *Podręcznik Frascati 2015. Zalecenia dotyczące pozyskiwania i prezentowania danych z zakresu działalności badawczej i rozwojowej*, OECD, wyd. polskie: Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2018.

(GUS, 2020) *Wypracowanie metodologii oraz badanie stopnia dostosowania wybranych przedsiębiorstw do wymogów gospodarczych, jakie stawia czwarta fala rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0)*, GUS, Szczecin 2020.

(Expo, 2018) *Polski Przemysł 4.0. Raport specjalny 2018, Nowy Przemysł Expo*.

(EPO, 2020) Ménière Y., Philpott J., Pose Rodríguez J., Rudyk I., Wewege S., Wienold N. (EPO), *Patents and the Fourth Industrial Revolution The global technology trends enabling the data-driven economy*, European Patent Office, Monachium, grudzień 2020.

(FPPP, 2021) Strojny P., Hetmańczyk M., Nowak P., Malaka J. Skrzek K. (red.), *Standardy kształcenia kompetencji przyszłości*, Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości, 2021. https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/uploads/2022/06/raport062022_fppp.pdf

(IBM, 2016) IBM Institute for Business Value (IBV): *Internet of Things in the industrial sector*, February 2016.

(IOT Analytics, 2015) IOT Analytics: *IoT Platforms: The central backbone for the Internet of Things*, November 2015.

(KE, 2021c) *Industry 5.0: human-centric, sustainable, and resilient*, European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Publications Office, 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/073781>

(KE, 2021d) *Advanced Technologies for Industry – Methodological report Indicator framework and data calculations* September 2021. Dostęp: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-11/ATI%20Methodological%20Report%20Indicator%20framework%20and%20data%20calculations_0.pdf

(McKinsey, 2015) McKinsey Global Institute: *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype*, June 2015.

(McKinsey 2020a) Christensen L., Gittleson J., & Smith M. (2020), *The most fundamental skill: Intentional learning and the career advantage*, McKinsey & Company. Dostęp: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-most-fundamental-skill-intentional-learning-and-the-career-advantage>

(McKinsey, 2020b) Ellingrud K., Gupta R., & Salguero J., 2020, *Building the vital skills for the future of work in operations*. McKinsey & Company. Dostęp: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/building-the-vital-skills-for-the-future-of-work-in-operations>, 12.12.2021.

(NCBR, 2022a) Chomczyk M., Dawidziuk A., Garlińska M., Jakubiak A., Łukaszewski D., Pawlik A., Szlagowska-Spychalska J., Tyburska-Staniewska A., Zawadzki P. *Cyfrowa przyszłość dzieje się u nas*, NCBR, Warszawa.

(NCBR, 2022b) Baranowski M., Krok K., Pisarek J., Zawadzka M., *System wsparcia B+R+I w Polsce w kontekście realizacji wybranych programów NCBR*, NCBR, Warszawa.

(PWC, 2016a) *Industry 4.0 Opportunities and challenges of the industrial internet*, Strategy & Formerly Booz & Company, PWC.

(PWC, 2016b) *Research and Development 4.0. The mutual benefits of digitization and R+D*, PWC.

(OECD, 2016) *Megatrends Affecting Science, Technology and Innovation*, OECD 2016. <https://www.oecd.org/sti/Megatrends%20affecting%20science,%20technology%20and%20innovation.pdf>

(OECD, 2019) *Measuring the Digital Transformation. A Roadmap for the Future*, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264311992-en>

(Oslo, 2018) *Podręcznik Oslo 2018. Zalecenia dotyczące pozyskiwania, prezentowania i wykorzystywania danych dotyczących innowacji* Wydanie 4, OECD, wyd. polskie: Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2020.

(MPiT/Siemens, 2019) *Smart Industry Polska 2019. Inżynierowie w dobie czwartej rewolucji przemysłowej, Raport z badań*, MPiT/Siemens, 2019. <https://przemysl-40.pl/wp-content/uploads/2019-Smart-Industry-Polska.pdf>

(PNIPH, 2021) *Przedsiębiorstwo 4.0, 360° Rekomendacje dobrych praktyk*, Polsko-Niemiecka Izba Przemysłowo-Handlowa, 2021.

(Pracodawcy RP, 2021) *Księga Rekomendacji projektu „Praca zdalna 2.0”*, dostęp: <https://pracodawcyrp.pl/upload/files/2021/03/praca-zdalna-2-0-rekomendacje-1.pdf>, 12.12.2021.

(Siemens, 2021) *Smart Industry Polska 2021. Droga polskiego przemysłu do zrównoważonego rozwoju w kontekście zmian klimatycznych. Raport z badań*, Siemens Polska, Warszawa, grudzień 2021.

(WEF, 2018) World Economic Forum, 2018, *The Future of Jobs Report*. Cologny/Geneva: Centre for the New Economy and Society – World Economic Forum.

(WIPO, 2019) *WIPO Technology Trends 2019: Artificial Intelligence*. Geneva: World Intellectual Property Organization.

PUBLIKACJE NAUKOWE

(Bakhshi i in., 2017) Bakhshi H., Downing J., Osborne M., & Schneider P., 2017, *The Future of Skills: Employment in 2030*. London: Pearson and Nesta.

(Bekey, 2017) Bekey G., *Autonomous Robots. From Biological Inspiration to Implementation and Control*. A Bradford Book, Cambridge, 2017.

(Blokdyk, 2019) Blokdyk G., *Digital twin A Complete Guide – 2019 Edition*. 5STARCOoks, 2019.

(Chodhury i in., 2017) Chowdhury M., Apon A., Dey K., *Data Analytics for Intelligent Transportation Systems*. Elsevier Inc., Switzerland, 2017.

(Fuhrt, 2011) Fuhrt B., *Handbook of Augmented Reality*, Springer Publishing Company Incorporated, 2011.

(Fuhrt, Escalante, 2010) Fuhrt B., Escalante A., *Handbook of Cloud Computing*. Springer Publishing Company Incorporated, 2010.

- (Gajdzik, Grabowska, 2018) Gajdzik B., Grabowska S., *Leksykon pojęć stosowanych w przemyśle 4.0, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Seria Organizacje i Zarządzanie, Zeszyt 132, 2018.*
- (Gajewski i in., 2015) Gajewski J., Paprocki W., Pieriegud J., red. (2015), *Megatrendy i ich wpływ na rozwój sektorów infrastrukturalnych*, Europejski Kongres Finansowy, Gdańsk 2015
- (Gilchrist 2016) Gilchrist A., *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things* (1st Edition). Apress, 2016.
- (Jelonek i in., 2022) Jelonek M., Kasperek K., Kocór M., Krygowska-Nowak N., Kwinta-Odrzywołek J., Lisek K., Worek B. (2022), *Niedopasowanie kompetencyjne w programach wsparcia studentów i doktorantów. Raport II – programy kształtujące kluczowe kompetencje studentów*. Warszawa, Kraków: Centrum Ewaluacji i Analiz Polityk Publicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- (Jimenez, 2018) Jimenez F., *Intelligent Vehicles. Enabling Technologies and Future Developments* (1st Edition). Butterworth-Heinemann, Oxford, 2018.
- (Li i in. 2015) Li S., Xu L.D. & Zhao S., 2015, *The internet of things: a survey. Inf Syst Front*, 17(2), 243-259.
- (Majstorovic, Mitrovic, 2019) Majstorovic V.D., Mitrovic R., *Industry 4.0 Programs Worldwide*, [w:] Monostori L., Majstorovic V.D., Hu S.J., Djurdjanovic D., *Editors Proceedings of the 4th International Conference on the Industry 4.0 Model for Advanced Manufacturing AMP 2019*. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-18180-2.pdf?pdf=button%20sticky>
- (Meeuwisse, 2017) Meeuwisse R., *Cybersecurity for Beginners*. Cyber Simplicity Ltd, 2017.
- (Mikhaylov, 2017) Mikhaylov I., *Mobile Forensics Cookbook: Data acquisition, extraction, recovery techniques, and investigations using modern forensic tools*. Packt Publishing, 2017.
- (Parker, 2019) Parker P.M., *The 2020–2025 World Outlook for Touch-Based Human Machine Interfaces (HMI)*. ICON Group International Inc., 2019.
- (Perez 2009) Perez C., *Technological revolutions and techno-economic paradigms*, Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics no. 20, Tallin University of Technology.
- (Popkova i in., 2019) Popkova E.G., Ragulina Y.V., Bogoviz A.V. (eds.), *Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century*, Springer International Publishing, 2019.
- (Radovan, 2019) Radovan M. (ed.), *Connected Vehicles. Intelligent Transportation Systems*, Springer International Publishing, Switzerland, 2019.
- (Redwood i in., 2017) Redwood B., Schöffner F., Garret B., *The 3D Printing Handbook: Technologies, design, and applications*. 3D Hubs, 2017.
- (Schwab, 2018) Schwab K., *Czwarta rewolucja przemysłowa*, Studio Emka, Warszawa.
- (Sosinsky, 2011) Sosinsky B., *Cloud Computing Bible*. Wiley Publishing, 2011.
- (Sarbu, 2020) Sarbu M., *The Impact of Industry 4.0 on Innovation Performance: Insights from German Manufacturing and Service Firms* (May 26, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3610952> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3610952>
- (Veneri, Capasso, 2018) Veneri G., Capasso A., *Hands-On Industrial Internet of Things: Create a powerful Industrial IoT infrastructure using Industry 4.0*. Packt Publishing, 2018.
- (Yáñez, 2017) Yáñez F., *The 20 Key Technologies of Industry 4.0 and Smart Factories: The Road to the Digital Factory of the Future*. Independently published, 2017.

Załącznik nr 1.

Rekomendacje wsparcia obszarów Przemysłu 4.0

Tabela 18. Cele, stan obecny oraz rekomendacje wsparcia wybranych branż kluczowych w zakresie obszarów technologii i usług powiązanych z Przemysłem 4.0/5.0 (wg raportu „Czas na cyfrową gospodarkę” fundacji Digital Poland)

Obszar technologii/ usług	Cele, stan obecny oraz rekomendacje działań
Autonomiczny transport	<p data-bbox="373 515 1067 538">Cel: zapewnienie zrównoważonej mobilności, ekologii i automatyzacji pojazdów</p> <p data-bbox="373 573 489 595">Stan obecny:</p> <ul data-bbox="373 601 1153 967" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="373 601 1059 662">■ Automatyzacja transportu obejmuje pojazdy drogowe, szynowe (kolej, tramwaje, metro), samoloty (załogowe statki powietrzne, wyposażone w funkcję autopilota) oraz drony (bezzałogowe statki powietrzne). <li data-bbox="373 668 1153 753">■ Polska jest krajem o najwyższym poziomie cyfryzacji usług wspierających wykonywanie operacji bezzałogowych statków powietrznych, w nomenklaturze unijnej nazywanymi U-Space (Ministerstwo Infrastruktury – raport EUROCONTROL pt. <i>European Organisation for the Safety of Air Navigation</i>, 09.2020). <li data-bbox="373 759 1153 801">■ Polska Agencja Żeglugi Powietrznej opracowała i wdrożyła koncepcję operacyjną i system PansaUTM, umożliwiający koordynację lotów dronów w przestrzeni kontrolowanej lotnisk. <li data-bbox="373 807 1134 868">■ Uruchomiono również system informacji dronowej oraz system usług cyfrowych dla obywateli, umożliwiający rejestrację i uzyskiwanie zezwoleń oraz wykonywanie operacji dronów automatycznych i autonomicznych. <li data-bbox="373 873 924 915">■ Polska znajduje się obecnie na drugim miejscu (po Singapurze) w zakresie gotowości do wdrażania usług dronowych. <li data-bbox="373 921 959 963">■ W dziedzinie transportu drogowego Polska nie została ujęta w rankingach z racji niespełnienia wymaganych wskaźników oceny. <p data-bbox="373 997 704 1020">Wymagane wsparcie (rekomendacje):</p> <ul data-bbox="373 1026 1166 1690" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="373 1026 1067 1087">■ Uproszczenie przepisów regulujących zasady prowadzenia testów pojazdów autonomicznych na drogach krajowych, ze szczególnym uwzględnieniem testów transgranicznych <li data-bbox="373 1092 1072 1134">■ Realizacja krajowych niefinansowych inicjatyw stymulujących wzrost i wdrażanie technologii związanych z automatyzacją transportu <li data-bbox="373 1140 1139 1182">■ Uruchomienie konkursów umożliwiających finansowanie inicjatyw stymulujących wzrost i rozwój technologii AV (autonomicznych pojazdów – <i>autonomous vehicles</i>) <li data-bbox="373 1188 959 1229">■ Identyfikacja wpływu automatyzacji transportu na przyzwyczajenia i umiejętności oraz system szkolenia i egzaminowania kierowców <li data-bbox="373 1235 1059 1277">■ Konieczność analizy i dyskusji w zakresie bezpieczeństwa pieszych w interakcji z pojazdami autonomicznymi <li data-bbox="373 1283 1166 1368">■ Wymagane określenie zasad ustalania odpowiedzialności za zdarzenia z udziałem pojazdów zautomatyzowanych (do celów ubezpieczeniowych i odpowiedzialności cywilnej), z uwzględnieniem postępującego procesu automatyzacji transportu (tj. kolejnych stopni automatyzacji) <li data-bbox="373 1374 1120 1435">■ Opracowanie prognozy wpływu automatyzacji pojazdów na stabilność zatrudnienia w sektorze transportu; określenie sposobów minimalizacji negatywnego wpływu tego zjawiska i wykorzystania szans z nim związanych <li data-bbox="373 1441 1126 1527">■ Określenie przyszłych wymagań w zakresie kompetencji i umiejętności, na kolejnych poziomach kształcenia poszczególnych grup interesariuszy AV (kierowcy, pracownicy serwisu, instruktorzy OSK, egzaminatorzy WORD itp.) w celu dostosowania programów kształcenia do wymogów stawianych przez rozwój technologii <li data-bbox="373 1532 999 1593">■ Określenie zagrożeń związanych z pojazdami zautomatyzowanymi dla cyberbezpieczeństwa, ochrony prywatności oraz analiza możliwości i sposobów minimalizacji tych zagrożeń <li data-bbox="373 1599 1099 1641">■ Określenie mechanizmów wsparcia i możliwości finansowania inicjatyw związanych z wdrożeniem lotniczego autonomicznego transportu na terenie Polski <li data-bbox="373 1646 1094 1688">■ Określenie katalogu i stymulowanie rozwoju technologii podwójnego zastosowania (cywilne i wojskowe), automatyzujących transport

Usługi BSS

(ang. business support services)

Cel: świadczenie szeregu usług dla firm i organizacji, mających swoje siedziby w Polsce i poza granicami

Stan obecny:

- Polska jest największą i jedną z najbardziej rozwiniętych destynacji sektora BSS (niskie wynagrodzenia, niskie koszty prowadzenia działalności gospodarczej, liczebność wykwalifikowanych kadr, szereg programów grantowych i niska konkurencja).
- Obecnie Polska konkuruje o inwestycje typu BSS z Europą, Azją, Afryką i obiema Amerykami.
- Centra BSS, w których realizowane są projekty analityczne, badawcze, związane z obszarem doskonalenia procesów i produktów, są postrzegane jako bardzo atrakcyjne i dobrze płatne miejsca pracy.

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Uregulowanie przepisów prawnych dotyczących pracy zdalnej
- Rozwinięcie programów nauki języków obcych, w tym języka niemieckiego oraz języków skandynawskich
- Inwestycje w infrastrukturę telekomunikacyjną w małych miastach i terenach wiejskich
- Edukacja w zakresie cyberbezpieczeństwa
- Promocja Polski jako świetnej destynacji BSS
- Przyspieszenie prac związanych z zatrudnianiem obcokrajowców
- Zacieśnienie współpracy szkół wyższych ze światem biznesu

Cyfrowa infrastruktura, centra przetwarzania danych, publiczna chmura

Cel: utworzenie centrów składowania oraz przetwarzania danych

Stan obecny:

- Rynek centrów danych w Polsce liczy około 100 obiektów.
- Polska może stać się hubem przetwarzania danych Europy Środkowo-Wschodniej.
- Pod względem liczby centrów danych Polska zajmuje szóste miejsce w Europie (z pięcioprocentowym udziałem w rynku), a w Europie Środkowo-Wschodniej jest liderem.
- Największymi ośrodkami są Warszawa (37 obiektów), Poznań (10) oraz Kraków (8).
- 60% wszystkich centrów danych zlokalizowano w Warszawie.

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Tworzenie i wsparcie Krajowych Centrów Przetwarzania Danych (KCPD) i inicjatywy *Cloud-first*
- Wsparcie rozwoju programu GAIA-X w Polsce oraz standaryzacja usług chmurowych
- Zwiększenie dostępu do zielonej energii; wsparcie rozwiązań nastawionych na oszczędzanie wody i lokalnego środowiska
- Inwestycje w sieci przesyłowe i zwiększenie elastyczności polskiego systemu energetycznego
- Wprowadzenie dalszych ułatwień w zdobywaniu pozwolenia na pobyt i pracę dla pracowników i pracownic spoza granic Polski
- Wsparcie w zwiększeniu efektywności energetycznej EED (*ang. Energy Efficiency Directive*)
- Zrozumienie strategicznej roli infrastruktury centrów danych

<p>Cyfrowa infrastruktura – sieci komórkowe</p>	<p>Cel: opracowanie stabilnych i niezawodnych sieci komunikacyjnych</p> <p>Stan obecny:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Polska posiada trzecią najlepszą sieć komórkową wśród 63 badanych krajów (World Digital Competitiveness Ranking 2022). ■ Sygnał sieci komórkowych dostępny jest na prawie 99% powierzchni kraju (według UKE). ■ Brakuje pasm 5G (0% w indeksie DESI). ■ Koszt połączeń komórkowych jest niski. ■ Brak jest wsparcia rozwoju ekosystemu sieci komórkowych w Polsce. ■ Występują istotne bariery prawne (brak możliwości potwierdzania profilu zaufanego, dostępu do Systemu Rejestrów Państwowych, brak możliwości użycia usługi mObywatel w procesach nawiązywania relacji z klientem przez operatorów). ■ Brakuje łączności służb mundurowych celem ochrony ludności oraz w sytuacjach kryzysowych. ■ Brak jest współpracy prywatno-publicznej (61 miejsce spośród 63 analizowanych państw w rankingu World Digital Competitiveness Ranking). <p>Wymagane wsparcie (rekomendacje):</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Dystrybucja pasm sieci 5G ■ Rozwój ekosystemu partnerów 5G ■ Zapewnienie zasięgu sieci 5G na terenie całej Polski i zniwelowanie białych plam ■ Rozwój partnerstwa prywatno-publicznego oraz wsparcie finansowe na rzecz rozwoju cyfrowej infrastruktury ■ Rozwój cyberbezpieczeństwa sieci telekomunikacyjnych i kluczowych dostawców ■ Prowadzenie kampanii obalających mity w zakresie szkodliwości sieci komórkowych oraz pola elektromagnetycznego ■ Zniesienie blokad prawnych w zakresie budowy sieci oraz edukacja samorządowców ■ Realizacja łączności dla służb mundurowych celem ochrony ludności i obsłużenia sytuacji kryzysowych PPDR (<i>Public Protection & Disaster Relief</i>) w oparciu o dobrowolną współpracę PPP (wzmacniającą rynek i budującą synergię)
<p>Cyfrowa infrastruktura –dostęp stacjonarny do internetu</p>	<p>Cel: inwestycje w sieci szerokopasmowe (stacjonarne i mobilne)</p> <p>Stan obecny:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Sektor telekomunikacyjny stanowi fundament gospodarki cyfrowej. ■ Zapotrzebowanie na dostęp do wysokiej jakości usług telekomunikacyjnych cały czas rośnie. ■ Polska plasuje się dopiero na 24. miejscu (na 27 państw członkowskich UE – ranking DESI). ■ Operatorzy borykają się ze specyficznymi dla polskiego rynku ograniczeniami regulacyjnymi. <p>Wymagane wsparcie (rekomendacje):</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Możliwość reagowania na zmianę cen oraz poziom potrzeb inwestycyjnych ■ Obowiązkowe przyłącza do budynków ■ Ograniczenie formalności wymaganych do budowy przyłącza telekomunikacyjnego ■ Ułatwienie budowy stacji bazowych sieci komórkowej ■ Zmiana zasad rządzących uzyskiwaniem zezwolenia na zajęcie pasa drogi publicznej oraz uregulowanie opłat za zajęcie pasa drogi publicznej ■ Zmniejszenie ilości informacji przekazywanych organom państwowym ■ Nowelizacja megaustawy oraz usprawnienie dostępu z art. 33 megaustawy ■ Wprowadzenie zasady narad koordynacyjnych wyłącznie na wniosek

<p>Cyfrowe zdrowie</p>	<p>Cel: opracowanie sprawnie działającego systemu usług e-medycyny</p> <p>Stan obecny:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Brakuje dostępu do pełnych oraz skompletowanych wyników badań. ■ Siatka pojęciowa w zakresie przetwarzania danych medycznych na poziomie regulacji jest nieuporządkowana. ■ Istnieją bariery prawne w dostępie do danych zawartych w dokumentacji medycznej (brak transparentnych przepisów dzielenia się danymi bez i za zgodą pacjenta). ■ Brakuje jednolitego standardu udostępniania danych zawartych w różnych rejestrach medycznych (w tym nowo tworzonych). ■ Brakuje systemowego rozwiązania pozwalającego pacjentowi na przekazywanie swojej dokumentacji medycznej podmiotom B+R (dawstwo danych) oraz zarządzanie anonimizacją danych. ■ Poziom z informatyzowania podmiotów leczniczych jest niski, a ich interoperacyjność niedostateczna. ■ Finansowanie testowania i implementacji innowacyjnych rozwiązań jest niedostateczne. ■ Poziom edukacji personelu medycznego jest niedostateczny. <p>Wymagane wsparcie (rekomendacje):</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Uporządkowanie siatki pojęciowej w zakresie przetwarzania danych na poziomie regulacji ■ Usprawnienie dostępu do danych anonimowych ■ Wsparcie implementacji rozwiązań opartych o ideę dawstwa danych medycznych, w tym implementacja <i>Data Governance Act</i> ■ Dalsze działania na rzecz zwiększenia interoperacyjności ■ Podjęcie działań na rzecz jednolitych formatów dokumentacji medycznej ■ Premiowanie działań szpitali na rzecz informatyzacji ■ Wsparcie finansowe placówek leczniczych w zakresie zwiększenia cyberbezpieczeństwa ■ Premiowanie stosowania innowacyjnych i cyfrowych rozwiązań w placówkach leczniczych ■ Premiowanie i edukacja szpitali w zakresie gromadzenia, wizualizacji i analizy zbieranych danych ■ Utworzenie systemowych rozwiązań na rzecz finansowania narzędzi telemedycznych i AI ■ Podjęcie działań w kierunku zwiększenia wiedzy personelu medycznego o narzędziach cyfrowych ■ Zwiększenie koordynacji oraz współpracy pomiędzy stroną publiczną oraz ekspertami w zakresie cyfryzacji ochrony zdrowia
<p>Cyfrowe usługi i marketing</p>	<p>Cel: opracowanie regulacji oraz wytycznych do sprawniej realizacji usług cyfrowych (publicznych i prywatnych)</p> <p>Stan obecny:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Realizowane są projekty usług cyfrowych publicznych (e-PIT, ePUAP, e-dowód). ■ Katalizatorem publicznych usług cyfrowych okazała się pandemia koronawirusa. ■ Prywatne cyfrowe usługi i marketing oparte są na mediach społecznościowych. <p>Wymagane wsparcie (rekomendacje):</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Współpraca z rynkiem w ramach wyznaczenia koordynatora do spraw usług cyfrowych ■ Wypracowywanie ewentualnych regulacji lub wytycznych w ramach współpracy z rynkiem w zakresie <i>influencer marketing</i> ■ Współpraca z Krajową Radą Radiofonii i Telewizji w zakresie usług VoD i platform udostępniania wideo ■ Współdziałanie w dopracowywaniu istniejących już mechanizmów gwarantujących wolność słowa i mediów ■ Utworzenie samoregulacji dookreślającej standardy dostępności (w odniesieniu do projektu ustawy o zapewnianiu spełniania wymogów dostępności niektórych produktów i usług przez podmioty gospodarcze, nr projektu UC119)

<p>Deep tech</p>	<p>Cel: wzmocnienie potencjału w zakresie nowoczesnych i zaawansowanych technologii</p> <p>Stan obecny:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Polska znajduje się na końcowych pozycjach w rankingu European Innovation Scoreboard. ■ Wśród firm nadal dominuje umiarkowana lub niska chęć podjęcia ryzyka. ■ Powstają nowe, unikatowe startupy i projekty rozwiązujące fundamentalne problemy, które mają zastosowanie w wielu branżach (<i>cross-sector</i>), charakteryzujące się wysokimi barierami wejścia oraz trudną do odtworzenia technologią. ■ W Polsce nadal brakuje inwestorów i funduszy VC. ■ Obecny system wsparcia rozwoju innowacji w Polsce jest niedostatecznie profesjonalizowany oraz rozproszony. ■ Od strony środków krajowych i regionalnych zauważalne jest również rozproszenie inwestycji na Krajowe oraz Regionalne Inteligentne Specjalizacje. <p>Wymagane wsparcie (rekomendacje):</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Przyswojenie najlepszych praktyk w zakresie zarządzania innowacją ze świata biznesu ■ Rozwój projektów <i>deep tech</i> w oparciu o długoterminową strategię państwa ■ Konieczność zdefiniowania kluczowych wyzwań (gospodarczych, społecznych, i cywilizacyjnych), na które powinny być przekazane większe środki ■ Zmapowanie i ustanowienie 4–5 priorytetowych strategicznych obszarów potrzeb niezbędnych do zaadresowania w kontekście polskiego rozwoju w następnych dekadach, z punktu widzenia bezpieczeństwa i geostrategii (bezpieczeństwa i obronności, energetyki, demografii i zdrowia) ■ Polska jako mecenas nauki i finansowania badań podstawowych ■ Stopniowe profesjonalizowanie szkolnictwa wyższego jako kierunek rozwoju ■ Zaangażowanie ekspertów oceniających projekty <i>deep tech</i> z dużym doświadczeniem biznesowym lub naukowym oraz wdrożenie systemu ich przygotowania do pełnienia funkcji profesjonalnych asesorów ■ Konieczność utworzenia programu wspierającego powstawanie dużych funduszy <i>deep tech</i> (o kapitalizacji 100–300 mln złotych) oparty o model partnerstwa publiczno-prywatnego, z udziałem kapitału instytucjonalnego ■ Konieczność utworzenia przepisów oraz procedur pozwalających na spokojną i rzetelną pracę nad projektem ■ Systemy wsparcia grantowego umożliwiające zastosowanie elastycznych metod zatrudnienia, w tym również zatrudnianie kontraktowe ■ Zdecydowana aktualizacja oferowanych warunków zatrudnienia w instytucjach publicznych, szczególnie bezpośrednio odpowiedzialnych za rozwój gospodarczy Polski ■ Projekty <i>deep tech</i> stanowiące odpowiedź na wyzwania badawcze i inżynierskie w celu osiągnięcia wysokiej skalowalności ■ Wprowadzenie niezależnych mechanizmów finansowania (o różnych intensywnościach projektów badawczych, rozwojowych i wdrożeniowych), adekwatnych do ryzyka projektów na poszczególnych etapach
-------------------------	---

Automatyzacja i robotyzacja**Cel: zwiększenie stopnia automatyzacji i robotyzacji procesów technologicznych****Stan obecny**

- Wskaźnik robotyzacji Polski utrzymuje się na stosunkowo niskim poziomie (63 roboty na 10 tys. pracowników).
- Wśród przedsiębiorców (zwłaszcza z sektora MŚP) automatyzacja i robotyzacja kojarzą się niemal wyłącznie z robotami przemysłowymi.
- Jednym z najważniejszych trendów na rynku jest obecnie umiejętność współpracy ludzi i robotów.
- Wskaźnik wydajności pracy w przemyśle przetwórczym w Polsce jest jednym z najniższych w Europie.
- Struktura polskiej gospodarki powoduje, że zwiększenie stopnia automatyzacji może być dla polskich firm stosunkowo proste.
- Polskie przedsiębiorstwa dokonują stosunkowo niewielkich inwestycji prorozwojowych.
- W latach 2018–2020 udział przedsiębiorstw aktywnych innowacyjnie w sektorze przedsiębiorstw przemysłowych wyniósł 36,7%, a w usługach – zaledwie 33%.

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Przegląd zakresu i oferty obowiązującej od początku 2022 roku ulgi na robotyzację
- Upowszechnianie korzyści wynikających z szerokiej automatyzacji procesów *back office* wśród przedsiębiorców wszystkich branż (w szczególności wśród firm z sektora MŚP)
- Wsparcie finansowe i promocyjne do celów rozwoju polskich narzędzi *low-code/no-code* oraz narzędzi do robotyzacji procesów biznesowych RPA (ang. *robotic process automation*)
- Prowadzenie działań promocyjnych wśród polskich przedsiębiorstw dotyczących idei demokratyzacji IT, zgodnie z którą pracownicy działów biznesowych tworzą potrzebne im aplikacje bez znajomości języków programowania (korzystając z narzędzi *low-code/no-code* oraz RPA)
- Przygotowywanie działań komunikacyjno-szkoleniowych (skierowanych do pracowników operacyjnych i kadry menedżerskiej) w celu współpracy na masową skalę z robotami (zarówno przemysłowymi i jak i programowymi) – czyli do pracy w warunkach kobotyzacji
- Utworzenie ekosystemu polskich dostawców rozwiązań z zakresu automatyzacji/robotyzacji biznesu (szerzej digitalizacji biznesu)
- Zintensyfikowanie prac nad ramami prawnymi funkcjonowania rynku pracy podczas i po okresie intensywnej automatyzacji/robotyzacji
- Wypracowanie mechanizmów wsparcia przedsiębiorstw prowadzących długoterminowe programy stażowe dla uczniów i absolwentów szkół średnich w obszarze automatyzacji i robotyzacji (zarówno w sektorze przemysłowym, jak i usług)
- Zwiększanie w podstawach programowych branżowych szkół informatycznych, mechatronicznych i elektronicznych oraz w programach studiów informatycznych i kierunków pokrewnych udziału zagadnień analityki danych, AI i ML
- Rozwinięcie bazy szkół policealnych wyspecjalizowanych w obszarze technologii informacyjnych
- Wprowadzenie zajęć z podstaw algorytmiki oraz narzędzi *low-code/no-code* w podstawach programowych studiów wszystkich kierunków

Elektroenergetyka

Cel: zaspokojenie obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię w ramach wspólnoty, kraju oraz społeczności lokalnych

Stan obecny:

- Bezpieczeństwo energetyczne wymaga spełnienia kilku priorytetów: pewności dostaw w przystępnej cenie, niezależności od importu oraz ochrony systemu energetycznego przed kryzysami.
- Osiągnięcie neutralności klimatycznej wymaga sukcesu dekarbonizacji sektora energetycznego.
- Widoczny jest wzrost konkurencji o ograniczone zasoby paliw między Europą i Azją oraz spadek stabilności geopolitycznej.
- Rosyjska agresja na Ukrainę nie zmieniła kierunku, ale zmieniła akcenty polityki państw europejskich oraz Polski.
- Wewnętrzna cecha OZE, jaką jest wytwarzanie energii elektrycznej dzięki niewyczerpalnym zasobom wiatru i słońca, pozwala na znacznie zmniejszenie zużycia paliw kopalnych w gospodarce oraz daleko idącą liberalizację i demokratyzację wytwarzania energii.
- Konieczna jest budowa zdecentralizowanego, rozproszonego i zdemokratyzowanego systemu elektroenergetycznego.
- Zdecentralizowana energetyka wymaga także nowego typu bezstronnego regulatora, dbającego o efektywne funkcjonowanie rynku energii i stymulowanie modernizacji elektroenergetyki.

Wymagane wsparcie (rekomendacje)

- Polska powinna potraktować obecny kryzys energetyczny i sytuację wywołaną agresją Rosji na Ukrainę jako motywację do przyspieszenia niezbędnych działań w obszarze dekarbonizacji.
- Celem Polski w UE powinno stać się „zazielenienie” krajowej autonomii strategicznej i wyraźne powiązanie celów transformacji energetycznej z kwestiami bezpieczeństwa strategicznego.
- Polska powinna potraktować obecny kryzys jako szansę na wyjście z impasu blokującego silniejszą integrację Unii Europejskiej w wymiarze bezpieczeństwa energetycznego.
- Strategiczne cele Polski powinny zostać dostosowane do celów neutralności klimatycznej na szczeblu UE i wiązać się ze zmianą przeznaczenia dostępnych środków UE i budżetowych.
- Obecny koszt alternatywny powinien stać się kosztem inwestycyjnym.
- Wymagana jest cyfryzacja energetyki oraz przekierowanie zasobów kapitałowych społeczeństwa na inwestycje w energetykę sieci lokalnej

Elektromobilność

Cel: wypracowanie regulacji prawnych, infrastruktury oraz pojazdów do zabezpieczenia potrzeb elektromobilności

Stan obecny:

- Rozwój elektromobilności idzie w parze z innymi przełomowymi trendami w sektorze transportu (digitalizacją i autonomizacją).
- Cyfryzacja umożliwi m.in. efektywne zarządzanie energią w akumulatorach litowo-jonowych, bezprzewodową aktualizację zainstalowanego w pojeździe oprogramowania, kontrolę nad samochodem z poziomu aplikacji mobilnej, czy też zdalną aktywację wyposażenia dodatkowego.
- Głównym celem polityki klimatycznej jest dekarbonizacja i wzrost udziału energii pochodzącej z odnawialnych źródeł.
- Rozwiązanie problemu dekarbonizacji może stanowić elektromobilność i powszechna elektryfikacja transportu, poprzez wykorzystanie samochodów elektrycznych jako mobilnych magazynów energii dzięki technologii *vehicle-to-grid* (V2G).
- Digitalizacja w połączeniu z elektromobilnością niesie kluczową zmianę w transporcie, jaką jest autonomizacja sektora transportu i związanych z infrastrukturą ładowania oraz mobilnością współdzieloną.
- Technologie cyfrowe mają szczególne znaczenie m.in. w ramach systemów wspólnego korzystania z samochodów (*car-sharing*).

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Uruchomienie ogólnopolskiego systemu informacji o możliwościach przyłączenia infrastruktury ładowania do sieci elektroenergetycznej
- Intensyfikacja rozwoju technologii inteligentnego ładowania (*smart charging*)
- Utworzenie warunków rozwoju technologii interfejsów pojazd-sieć V2G (*vehicle-to-grid*)
- Skoordynowanie i połączenie działań B+R w zakresie elektromobilności
- Wprowadzenie regulacji w zakresie popularyzacji pojazdów autonomicznych
- Dopasowanie infrastruktury drogowej do potrzeb rozwoju technologii V2I
- Zapewnienie zasięgu sieci 5G w obrębie całego kraju

Fintech

Cel: wdrożenie, usprawnienie oraz upowszechnienie usług z branży fintech

Stan obecny

- Na polskim rynku działa 299 podmiotów z branży *fintech* (najwięcej w branży płatniczej).
- Dobrze reprezentowane są firmy będące dostawcami oprogramowania dla *fintech* (32 podmioty), spółki pomagające w zarządzaniu finansami przedsiębiorstw (23), *insurtech* – nowoczesne podmioty działające w ubezpieczeniach (22), kantory internetowe (22) i firmy działające w obszarze kredytów (18).
- Polski *fintech* to najczęściej spółka z ograniczoną odpowiedzialnością (64%) lub spółka akcyjna (34%); pozostałe formy organizacyjne wybrało 2% podmiotów.
- Centrum firm z branży *fintech* pozostaje Warszawa.

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Zapewnienie ciągłości instytucjonalnej i prawnej oraz długofalowej strategii działań na rzecz wspierania w Polsce rozwoju innowacji finansowych
- Wdrożenie schematów wsparcia prawno-biznesowego dla polskich przedsiębiorstw
- Otwarcie publicznych rejestrów i baz danych sektora publicznego
- Umożliwienie wykorzystania tożsamości cyfrowej we wszelkich procesach finansowych oraz w procesach zwalczania procederu „prania pieniędzy”
- Stosowanie nowych rozwiązań finansowych w piaskownicy regulacyjnej
- Utworzenie systemu ostrzegania i wymiany informacji sektora *fintech*
- Utworzenie przyjaznych warunków edukacji w obszarze innowacji finansowej
- Aktywne zaangażowanie strony polskiej we wdrażanie cyfrowego pakietu finansowego Unii Europejskiej

Gospodarka obiegu zamkniętego**Cel: zdefiniowanie, wdrożenie oraz utrzymanie założeń GOZ****Stan obecny:**

- Obecnie cyfryzacja jedynie w niewielkim stopniu wspiera zamykanie obiegu gospodarczych.
- Cyfryzacja przyczynia się do pełniejszego i bardziej efektywnego wdrożenia rozwiązań cyrkularnych, które obecnie stanowią niewielką część działalności gospodarczej w Polsce.
- Około 1/4 wszystkich wytwarzanych odpadów jest obecnie składowanych.
- Obecny poziom zużycia materiałów w Polsce przekracza możliwości regeneracyjne Ziemi.
- Pomimo poprawy produktywności zasobów w ostatnich dziesięcioleciach, wykorzystanie surowców nadal rośnie.

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Zapewnienie dostępu do jak najpełniejszej, wiarygodnej informacji o produkcie w formie cyfrowej
- Stopniowe zwiększanie ilości danych zbieranych na temat użytkowania i oddziaływania dóbr za pomocą rozwiązań cyfrowych, zapewniające pełne uwzględnienie efektów zewnętrznych w cenie produktu
- Cyfryzacja umożliwiająca dalsze rozszerzanie odpowiedzialności producenta poprzez stopniowy rozwój możliwości zarządzania dobrami w całym ich cyklu życia
- Prawo do naprawy i zakupu części zapewnione poprzez zastosowanie rozwiązań cyfrowych
- Możliwości naprawy urządzeń elektronicznych w oparciu o standaryzację zastosowanych elementów i rozwiązań, w tym w szczególności diagnostyki
- Przejrzysty cyfrowy przegląd odpadów w całej gospodarce, pomagający firmom w tworzeniu możliwości eliminacji słabych punktów w systemie, a rządowi w zapewnianiu skutecznego wsparcia tych możliwości
- Rozwiązania cyfrowe ułatwiające dostosowywanie produktów, ich serwicyzację oraz tworzenie bardziej lokalnych łańcuchów wartości
- Cyfryzacja zapewniająca optymalne zagospodarowanie dostępnych dóbr
- Kluczowe dla transformacji cyrkularnej przeciwdziałanie asymetrii informacji pomiędzy producentem a konsumentem
- Zdobyta wiedza oraz jej upowszechnianie prowadzące do podniesienia świadomości oraz wspierania decyzji politycznych i inwestycyjnych
- Rozwiązania technologiczne dostosowane do ograniczeń środowiska i planety

**Internet rzeczy (IoT)
oraz przemysłowy
internet rzeczy (IIoT)****CEL: zwiększenie pozycji IoT/IIoT w zastosowaniach w społeczeństwie oraz przemyśle****Stan obecny:**

- Zastosowanie IoT w zakresie bezpieczeństwa obiektów: Polska 11%, UE 21%
- Zastosowanie IoT w logistyce: Polska 12%, UE 6%
- Zastosowanie IoT w procesach produkcyjnych: Polska 3%, UE 5%
- Zastosowanie IoT do inteligentnych liczników, lamp i termostatów w celu optymalizacji energii: Polska 5%, UE 9%
- Zastosowanie IoT – połączonych ze sobą urządzeń lub systemu, które mogą być monitorowane lub zdalnie sterowane przez internet: Polska 19%, UE 30%

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Wsparcie rozwoju inteligentnych rozwiązań wykorzystujących IoT oraz zaawansowane algorytmy powinno zostać zaadoptowane w priorytetowych obszarach, takich jak infrastruktura energetyczna i mierniki inteligentne, rolnictwo i produkcja żywności, przemysł, transport multimodalny, inteligentne miasta i budynki, ochrona zdrowia.
- Priorytetem przemysłu jest zwiększenie efektywności i elastyczności procesów produkcyjnych i logistycznych oraz zmiana struktury miejsc pracy poprzez zastępowanie prostej pracy manualnej zadaniami konfigurowania, monitorowania i integrowania autonomicznych procesów wytwórczych i logistycznych pod kontrolą systemów planowania produkcji i transportu.
- Priorytetem rolnictwa powinna być automatyzacja i skalowanie metod produkcji żywności przyjaznych środowisku i chroniących strategiczne zasoby naturalne (woda, gleba, bioróżnorodność ekosystemów).
- Priorytetem sektora energii powinno być pilne wdrożenie inteligentnych liczników energii oraz cyfryzacja sieci elektroenergetycznych, w tym wsparcie automatyzacji dla OZE.
- Priorytetem transportu multimodalnego powinien być rozwój bezpiecznych, wydajnych, elastycznych i przyjaznych środowisku systemów transportowych do przewozu ludzi i towarów.
- Priorytetem budownictwa powinno być wsparcie transformacji łańcucha wartości produkcji budowlanej (komponentyzacja budownictwa, robotyzacja placu budowy, cyfryzacja projektowania i zarządzania kontraktami, zapewnienie bezpieczeństwa pracowników).
- Priorytetem rozwoju inteligentnych miast powinno być instytucjonalne wsparcie planowania i wdrażania cyfrowej transformacji ekosystemów miejskich, wykorzystującej rozwiązania i technologie z obszaru *smart city* oraz potencjał społeczny, edukacyjny, gospodarczy i zasoby naturalne.
- Priorytetem ochrony zdrowia powinno być zwiększenie efektywności przeciwdziałania globalnym zagrożeniom zdrowotnym oraz rozwój usług związanych ze starzeniem się społeczeństwa (np. monitorowanie stanu zdrowia, zwiększenie zdolności do zdalnego świadczenia podstawowych usług medycznych dla seniorów, w tym diagnostyki wspieranej przez zaawansowane systemy analityczne; zwiększenie jakości i wydajności systemów opieki seniorów, a także przedłużanie okresu aktywności zawodowej osób w wieku senioralnym).
- Priorytetowymi działaniami na rzecz IoT powinny być kompleksowe funkcjonalności łączące funkcje sensoryczne (monitorowanie i zbieranie danych), analityczne (analiza danych) oraz autonomiczne (zdolność do zautomatyzowanego funkcjonowania procesów i systemów z jak najmniejszym zaangażowaniem ze strony ludzi – operatorów takich systemów).
- W przypadku każdego z obszarów wsparcia powinien zostać przewidziany mechanizm finansowego stymulowania innowacji (program dla startupów i spin-offów), rozwoju (skalowanie młodych firm i produktów rozwijanych przez dojrzałe firmy) oraz eksportu (dyplomacja technologiczna, misje, dofinansowanie obecności na kluczowych targach i konferencjach).
- Fundamentem realizacji programu jest szybka i skuteczna modernizacja infrastruktury telekomunikacyjnej, wymagająca uwolnienia pasm dla zaawansowanych usług 5G oraz udostępnienie ich operatorom na warunkach zapewniających akceptowalny zwrot z inwestycji w nowe usługi sieciowe.

IT/ICT

CEL: rozwój potencjału intelektualnego oraz zwiększenie liczby programistów**Stan obecny:**

- Wzrost przewagi konkurencyjnej Polski może się dokonać tylko dzięki przejściu z gospodarki opartej na tradycyjnym przemyśle do gospodarki opartej na wiedzy.
- Brak kompetencji informatycznych i cyfrowych hamuje funkcjonowanie i rozwój gospodarki.
- Skutecznymi sposobami pozyskiwania programistycznych umiejętności (poza studiami) jest udział w kursach, hackathonach i bootcampach.

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Włączenie przedstawicieli branży tworzącej oprogramowanie w skład Rady ds. Cyfryzacji i włączenie tej Rady w proces konsultacji wszelkich regulacji w obszarze digitalizacji i zatrudnienia
- Położenie większego nacisku przy tworzeniu prawa na kwestie informatyzacji i digitalizacji
- Skorzystanie przez polskie organy ze wsparcia eksperckiego zewnętrznych organizacji w procesie tworzenia nowych regulacji prawa europejskiego dotyczących cyfryzacji – tak, aby przepisy te uwzględniały odpowiedzialne kształtowanie konkurencyjności polskiej gospodarki
- Skorzystanie przez polskie organy ze wsparcia eksperckiego zewnętrznych organizacji przy odpowiedzialnym pozyskiwaniu i dystrybucji środków unijnych nowej perspektywy, przeznaczonych na unowocześnienie polskiej gospodarki
- Utworzenie systemu prawno-podatkowego, który mógłby stanowić Wirtualną Strefę Ekonomiczną dla sektora IT/wysokich technologii
- Uregulowanie prawne pracy zdalnej
- Zmiany w polskim prawie autorskim polegające na złagodzeniu wymogów formalnych dotyczących rozporządzania prawami autorskimi i ułatwianiu zawierania tego typu umów na odległość
- Rozwiązanie braków kadrowych w branży IT

Półprzewodniki i fotonika **Cel: umocnienie pozycji w produkcji oraz zastosowaniu półprzewodników i fotoniki****Stan obecny:**

- W 2020 roku na świecie wyprodukowano 1 bilion chipów (w Europie zaledwie 10%).
- Powstały inicjatywy zmierzające do wzmocnienia potencjału projektowo-produkcyjnego – zarówno w Ameryce, jak i w Europie.
- Europejska inicjatywa (Chip Act) zakłada wzrost udziału produkcji europejskiej z 10% do 20% światowego rynku produkcji w roku 2030 i inwestycje unijne na poziomie 43 mld euro.
- Z uwagi na tworzenie i stosowanie najnowocześniejszych technologii niezbędna jest także stała, głęboka współpraca przemysłu z nauką.
- Europejski rynek fotoniki w 2019 roku był drugim co do wielkości na świecie (za Chinami i przed USA).
- Dążenie do budowy ekosystemu firm i jednostek badawczych w obszarze technologii półprzewodnikowych oraz skrócenia łańcucha dostaw w tym zakresie jest priorytetowym działaniem w Europie.
- Potencjał polskiej fotoniki i mikroelektroniki to sześć głównych ośrodków akademickich, kilka instytutów badawczych oraz około 300 przedsiębiorstw (najczęściej MŚP), skoncentrowanych głównie na Mazowszu, Dolnym Śląsku, Podkarpaciu i w Małopolsce.
- Główne problemy branży to: niski poziom integracji, braki w dostępnej infrastrukturze badawczej i produkcyjnej, ograniczone finansowanie badań i powstających firm, brak wysoko wykwalifikowanych pracowników, psychologiczne bariery przedsiębiorczości.

Wymagane wsparcie (rekomendacje):

- Opracowanie polskiej strategii rozwoju przemysłu mikroelektronicznego i fonicznego, bazującej na strategii europejskiej zawartej w pakiecie legislacyjnym European Chips Act
- W zakresie mikroelektroniki sięgnięcie w pierwszej kolejności po rozwiązanie licencyjne, które będzie bazą do dalszego rozwoju technologii wytwarzania układów scalonych w oparciu o krajowe innowacje
- Strukturalne długoterminowe wsparcie integracji przemysłu *high-tech* na poziomie ogólnopolskim
- Stały intensywny dialog instytucji definiujących i prowadzących politykę przemysłową i naukową z przemysłem i ośrodkami badawczymi
- Utworzenie ośrodków (kilku w skali kraju) udostępniających własne pilotażowe/małoskalowe linie produkcyjne półprzewodników (ale także np. światłowodów) na potrzeby badań i rozwoju produktów i technologii, wzorowanych na sprawdzonej koncepcji usług Foundry
- Finansowanie (ze środków krajowych i UE) projektów inwestycyjnych (linii produkcyjnych) zgodnych z opracowaną strategią, opartych o polskie technologie półprzewodnikowe rozwijane w krajowych firmach, uczelniach i instytutach badawczych
- Utworzenie programu wsparcia inwestycji dzięki wiodącym krajowymi technologiom fonicznym i półprzewodnikowym (angażującego fundusze publiczne i prywatne)
- Wsparcie rozwoju ekosystemu projektowania układów i systemów mikroelektronicznych w Polsce np. poprzez tworzenie ułatwień w dostępie do specjalistycznego oprogramowania EDA (ang. *electronic design automation*) służącego do opracowywania modeli i prototypowania na potrzeby edukacyjne oraz MŚP
- Umożliwienie polskim podmiotom (szczególnie MŚP) dostępu do usług projektowania, prototypowania i produkcji, co pozwoli uzyskać efekt koła zamachowego gospodarki oraz szerszego i efektywniejszego wykorzystywania funduszy europejskich
- Tworzenie zachęt inwestycji zagranicznych *high-tech* we współpracy z przemysłem i ośrodkami naukowymi
- Zwiększenie intensywności kształcenia kadr przemysłu *high-tech*, zwłaszcza półprzewodnikowego i fonicznego
 - Utworzenie warunków dla poprawy jakości kształcenia w zakresie matematyki, fizyki, chemii i nauk przyrodniczych na poziomie szkół podstawowych i średnich (z naciskiem na eksperymentowanie i praktyczne zastosowania tych nauk)

Przemysł 4.0	<p>Cel: zwiększenie poziomu udziału oraz rozwój technologii Przemysłu 4.0</p> <p>Stan obecny:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ W zakresie automatyzacji Polska stoi na wysokim poziomie. ■ Niski jest poziom cyfryzacji w firmach produkcyjnych. ■ Brakuje zrozumienia idei Przemysłu 4.0. ■ Występują braki kadrowe oraz kompetencyjne. <ul style="list-style-type: none"> • Wymagane wsparcie (rekomendacje): <ul style="list-style-type: none"> ■ Eliminacja wpływu rosnących kosztów mediów niezbędnych do prowadzenia produkcji (stanowiących powód ograniczenia dostępnych zasobów finansowych) ■ Wprowadzenie ulg podatkowych lub częściowo umarzalnych kredytów jako zachęty do działań inwestycyjnych (zmierzających do optymalizacji procesów wytwórczych) ■ Ocena kwalifikowalności działań inwestycyjnych pod kątem wsparcia finansowego poprzez ocenę efektu końcowego ■ Wprowadzenie do programów nauczania (od wyższych klas szkół podstawowych po szkoły średnie, branżowe i uczelnie wyższe) tematu cyfryzacji, jako elementu wchodzącego w obszar edukacji o gospodarce ■ Upowszechnienie dostępu do wysokiej jakości usług doradczych w obszarze budowania strategii cyfryzacji procesów produkcyjnych poprzez systemowe dofinansowanie usług, wprowadzenie standaryzacji w ocenie kompetencji doradców z tego obszaru i ich certyfikacji, inwestycje w usługi doradcze oraz ekspertów w obszarze wdrażania projektów IT ■ Utworzenie wiarygodnej strategii wraz z miernikami sukcesu ■ Zmiana podejścia do tworzenia narzędzi wsparcia ■ Włączenie cyberbezpieczeństwa jako standardowego elementu Przemysłu 4.0 ■ Dofinansowanie 5G w przemyśle
---------------------	---

Źródło: Digital Poland 2022

Sektor publiczny może wnieść wartość dodaną w kilka kluczowych obszarach Przemysłu 4.0/Przemysłu 5.0, w szczególności w zakresie:

- oceny pozycji krajów w odniesieniu do zmian w obszarze systemów cyberfizycznych CPS, produkcji cyfrowej i internetu;
- wprowadzenia polityk dotyczących edukacji, migracji, badań nad produkcją cyfrową lub powołanie instytucji wspierających różne sposoby prowadzenia działalności;
- podnoszenia świadomości na temat wyzwań i możliwości w obszarze Przemysłu 4.0 lub 5.0 i internetu przemysłowego;
- tworzenia i aktywizacji forów i platform dla zainteresowanych stron, w tym krajowych izb przemysłowych, instytucji badawczych itp.;
- inicjacji i rozwoju kontaktów z innymi krajami (m.in. w celu dzielenia się najlepszymi praktykami, rozwijania wspólnych inicjatyw dla określonych sektorów);
- współpracy z instytucjami europejskimi, takimi jak Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego i Europejski Fundusz Społeczny, w celu określenia i opracowania odpowiednich możliwości wsparcia.

NCBR 

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

ul. Chmielna 69

00-801 Warszawa

tel.: +48 22 39 07 170

tel.: +48 22 39 07 191

e-mail: info@ncbr.gov.pl

gov.pl/NCBR



NCBR

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

ul. Chmielna 69

00-801 Warszawa

Telefon: +48 22 39 07 401

gov.pl/NCBR

gov.pl/innowacje



Fundusze Europejskie



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju